



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Delimitación y análisis de áreas quemadas mediante teledetección: los incendios de 2009 en la provincia de Teruel

Autor:

Lucía Marín García

Director:

Raquel Montorio Llovería

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio

Facultad de Filosofía y Letras

Universidad de Zaragoza

Curso 2015-2016

Resumen: *Los incendios forestales suponen uno de los principales problemas ambientales que mayor incidencia presentan en el ámbito territorial de Teruel. En el verano de 2009, ardieron millones de hectáreas concentradas en seis grandes incendios en las comarcas de Aliaga, Alloza, Los Olmos, Mazaleón, Valdetormo y Corbalán representando uno de los peores episodios de fuego ocurridos en los últimos años en la provincia, bajo unas condiciones meteorológicas muy desfavorables. En este trabajo se va a proceder a la delimitación y cartografía de las áreas que se vieron afectadas por los focos de fuego mediante imágenes de satélite Landsat y al estudio de la regeneración vegetal a través del análisis del dNBR y la comparativa de sus valores tanto NDVI de las imágenes post-fuego con las imágenes del año 2015 pertenecientes al satélite Landsat 8.*

Abstract: *Forest fires are one of the major environmental problems have a higher incidence in the territory of Teruel. In the summer of 2009, they burned millions of hectares concentrated in six large fires in the regions of Aliaga, Alloza, Los Olmos, Mazaleón, Valdetormo and Corbalan representing one of the worst episodes of fire occurred in recent years in the province, under a metrological very unfavorable conditions. In this paper we will proceed with the delimitation and mapping of the areas that were affected by outbreaks of fire by Landsat satellite imagery and the study of plant regeneration through analysis DNBR and comparing their values both NDVI of post-fire images with images 2015 belonging to the satellite Landsat 8.*

Palabras clave: *NDVI, incendio forestal, NBR, Landsat 8, imagen de satélite, Teledetección.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|------------------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| <i>1. 1 Presentación y justificación del proyecto.....</i> | <i>1</i> |
| <i>1. 2 Contextualización de los incendios forestales a distintas escalas: La gran problemática del pasado y del presente.</i> | <i>2</i> |
| <i>1. 2. 1 Los incendios forestales en el ambiente mediterráneo.</i> | <i>4</i> |
| <i>1. 2. 2 Los incendios en la Comunidad Autónoma de Aragón: El caso de Teruel ...</i> | <i>6</i> |
| <i>1. 2 Aplicación de la Teledetección al estudio de los incendios forestales.</i> | <i>7</i> |
| <i>1. 3 Imágenes de satélite e índices espectrales más empleados para el análisis de los incendios forestales.</i> | <i>9</i> |
| 2. OBJETIVOS PROPUESTOS DEL TRABAJO..... | 12 |
| 3. ÁREA DE ESTUDIO | 12 |
| <i>3. 1 Características climáticas</i> | <i>13</i> |
| <i>3. 2 Superficie forestal.....</i> | <i>16</i> |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS | 19 |
| 4. 1. DATOS EMPLEADOS: IMÁGENES DE SATÉLITE..... | 19 |
| <i>4. 1. 1. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)</i> | <i>19</i> |
| <i>4. 2. 1 Selección y descarga de las imágenes de satélite</i> | <i>19</i> |
| 4. 2 DELIMITACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS | 20 |
| <i>4. 2. 2 Análisis del índice NDVI.....</i> | <i>22</i> |
| 4. 3 CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS: ANALISIS DE SEVERIDAD Y REGENERACIÓN VEGETAL. | 25 |
| 5. RESULTADOS | 28 |
| <i>5. 1 Análisis individual de la serie de incendios de 2009</i> | <i>28</i> |
| <i>5. 2 Análisis global de la serie de incendios de 2009</i> | <i>42</i> |
| 6. CONCLUSIONES..... | 50 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |
| <i>6. 1 Fuentes bibliográficas</i> | <i>51</i> |
| <i>6. 2 Páginas Web y noticias de prensa.....</i> | <i>51</i> |
| 8 ANEXOS..... | 53 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Superficie quemada por provincia año 2010..... | 4 |
| Figura 2: Satélite Landsat 5..... | 10 |
| Figura 3: Satélite Landsat 8..... | 10 |
| Figura 4: Localización del área de estudio..... | 12 |
| Figura 5: Mapa de localización de los incendios de Teruel: Aliaga, Alloza, Corbalán, Valdetormo, Mazaleón..... | 13 |
| Figura 6: Mapa forestal de la provincia de Teruel..... | 17 |
| Figura 7: Firmas espectrales..... | 21 |
| Figura 8: Composición de falso color 7,4,3 pre incendio 2009..... | 22 |
| Figura 9: Digitalización NDVI pre-fuego incendios 2009..... | 23 |
| Figura 10: Digitalización NDVI post-fuego incendios 2009..... | 24 |
| Figura 11: Esquema de la metodología seguida en el presente proyecto para el cálculo del índice dNBR | 26 |
| Figura 12: Digitalización de los perímetros de los incendios de Aliaga, Alloza, Los Olmos, Valdetormo, Mazaleón y Corbalán..... | 27 |
| Figura 13: Evolución temporal del NDVI pre-fuego a 2015 Corbalán..... | 48 |
| Figura 14: Evolución temporal del NDVI pre-fuego a 2015 Aliaga..... | 49 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Índices espectrales más empleados en la cartografía de las áreas quemadas..... | 11 |
| Tabla 2: Composición de la superficie forestal de Teruel..... | 18 |
| Tabla 3: Fecha de las imágenes de satélite utilizadas para el cálculo de variables | 20 |
| Tabla 4: Niveles de Severidad..... | 27 |
| Tabla 5: Ficha descriptiva del Incendio de Aliaga..... | 28 |
| Tabla 6: Ficha descriptiva del Incendio de Alloza..... | 29 |
| Tabla 7: Ficha descriptiva del Incendio de Los Olmos..... | 30 |
| Tabla 8: Ficha descriptiva del Incendio de Valdetormo..... | 31 |
| Tabla 9: Ficha descriptiva del Incendio de Mazaleón..... | 32 |
| Tabla 10: Ficha descriptiva del Incendio de Corbalán..... | 33 |
| Tabla 11: Valores de dNBR del incendio de Aliaga individualizado por categorías de severidad..... | 37 |
| Tabla 12: Valores de dNBR del incendio de Alloza individualizado por categorías de severidad..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Tabla 13: Valores de dNBR del incendio de Los Olmos individualizado por categorías de severidad..... | 39 |
| Tabla 14: Valores de dNBR del incendio de Valdetormo individualizado por categorías de severidad..... | 40 |
| Tabla 15: Valores de dNBR del incendio de Mazaleón individualizado por categorías de severidad..... | 41 |
| Tabla 16: Valores de dNBR del incendio de Alloza individualizado por categorías de Corbalán..... | 42 |
| Tabla 17: Niveles de NDVI..... | 42 |
| Tabla 18: Datos NDVI promedio pre y post 2009 y 2015 de la serie de incendios (Aliaga, Alloza, Los Olmos, Valdetormo, Mazaleón y Corbalán)..... | 44 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica1: Número de Siniestros producidos en España (1960-2015)..... | 3 |
| Gráfica 2: Evolución de los incendios sucedidos en Aragón (1996-2015)..... | 7 |
| Gráfico 3: Climograma de Aliaga..... | 11 |
| Gráfico 4: Evolución temporal del índice de vegetación NDVI de Aliaga, Alloza, Los Olmos, Valdetormo, Mazaleón y Corbalán pre-post incendio 2009 y 2015..... | 43 |
| Gráfico 5: Valores promedio NBR pre y post fuego 2009..... | 45 |
| Gráfico 6: Valores dNBR individualizados por categorías de severidad(Regrowth, Unburned, Low, Moderate-low, Moderate-high, high)para cada uno de los seis incendios..... | 46 |

1. INTRODUCCIÓN

1. 1 Presentación y justificación del proyecto

El motivo de este trabajo de investigación está basado en analizar la importancia que tienen los incendios forestales en la última década en el contexto de Teruel, por medio de las diferentes técnicas empleadas en el campo de la teledetección. En este sentido, la teledetección ambiental, representa una de las mejores herramientas, para conocer la evolución de un incendio forestal, ya que esta, se sirve del uso de diferentes imágenes de satélite para delimitar y cuantificar aquellas áreas del territorio que se han visto agravadas por los episodios de fuego.

la teledetección se define como *“Aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales. La Teledetección engloba tanto los procesos que permiten obtener una imagen así como su posterior tratamiento e interpretación”*. (Chuvienco, 1996)

En el transcurso de este trabajo aplicaremos contenidos que hemos ido adquiriendo a lo largo de la carrera como Teledetección y herramientas SIG. A modo de esquema general, primero llevaremos a cabo un análisis multitemporal de imágenes Landsat con el objetivo de reconocer los grandes incendios forestales que tuvieron lugar en el año 2009: Aliaga, Valdetormo, Alloza, Corbalán, Mazaleón y Los Olmos. Posteriormente, realizaremos una elaboración cartográfica de la superficie quemada haciendo uso del NDVI para finalmente caracterizar las superficies afectadas y desarrollar un seguimiento de los procesos de regeneración de las mismas con las del verano del año 2015.

En cuanto a las causas que han motivado la elección y realización de este trabajo de investigación, han sido especialmente la inexistencia de estudios sobre la materia de teledetección anteriormente publicados sobre el territorio turolense, junto con la importancia que supuso en términos de superficie forestal quemada los incendios de 2009 para la provincia. En los últimos años, Teruel ha sido protagonista de numerosos fuegos que cada vez van en aumento y por tanto suscita interés indagar cuales han sido las zonas afectadas, las causas a las que se han debido y las repuestas de la superficie forestal a ello.

La justificación del presente proyecto por tanto se traduce en la necesidad implícita de conocer el territorio y la posibilidad de conseguirlo a través del campo de la teledetección, ya que se obtiene una información muy valiosa, de la cual se puede extraer conclusiones que contribuyen enormemente a la toma de decisiones de cara a la gestión forestal de los incendios.

1. 2 Contextualización de los incendios forestales a distintas escalas: La gran problemática del pasado y del presente.

- “El **fuego** que se extiende sin control sobre un terreno forestal que no estaba destinado a arder. [ICONA].
- “Son **fuegos** naturales o provocados que queman la vegetación de un bosque.”[revista ecoportal].
- **Fuego** que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte. [Ley 43/2003 de Montes].

Podemos observar como todas las definiciones tienen en común el vocablo “Fuego”. El fuego, es un elemento natural que ejerce un papel clave en el desarrollo de los ecosistemas forestales. Es el principal protagonista por no decir el único responsable de que tengan lugar en nuestro territorio los incendios forestales hasta el punto de que llega a considerarse un rasgo definitorio de los paisajes españoles. Los incendios forestales son uno de los principios de amenaza más graves que afecta al conjunto forestal que define a nuestro país. Así de acuerdo a las definiciones propuestas acerca de lo que es un incendio forestal, este lo podemos definir como “Un tipo de incendio en el que el fuego se extiende sin control sobre combustibles situados en el monte y caracterizado por producirse y desarrollarse principalmente en zonas naturales”.

A continuación, nos vamos a centrar en analizar la situación de los incendios desde diversas escalas. Primero empezaremos hablando desde un contexto general, del comportamiento de estos siniestros en el ámbito nacional, como estos han evolucionado para posteriormente centrarnos en la problemática presente en nuestra área de estudio y que da pie a nuestra investigación.

Haciendo alusión a las estadísticas proporcionadas por el *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, la magnitud de las cifras anuales en cuanto a lo que se refiere al número de siniestros producidos y superficies afectadas en España, cada vez son mayores y crecen a un ritmo profuso y que evidencian la agravación del problema. A pesar de ello cabría formularnos una pregunta ¿Cuál es su estado actual?

Desde los años 60, España lleva a cabo la realización de un inventario de los incendios sucedidos en todo su territorio donde se publican datos e información sobre las partes del incendio, las causas por las que se ha desencadenado el fuego, las zonas con mayor riesgo de ocurrencia de fuegos, el número anual de incendios así como la superficie quemada y el tipo de cubiertas vegetales afectadas. Estos tres datos últimos, son los que más nos van a interesar a la hora de conocer como han ido desarrollándose los incendios en nuestra península y sus consecuencias hablando en términos de superficies quemadas.

El fenómeno de los incendios forestales se ha posicionado como uno de las mayores problemáticas ambientales que atañe a nuestro país, debido a su alta frecuencia y a su grado de intensidad que han ido adquiriendo estos siniestros en las últimas décadas.

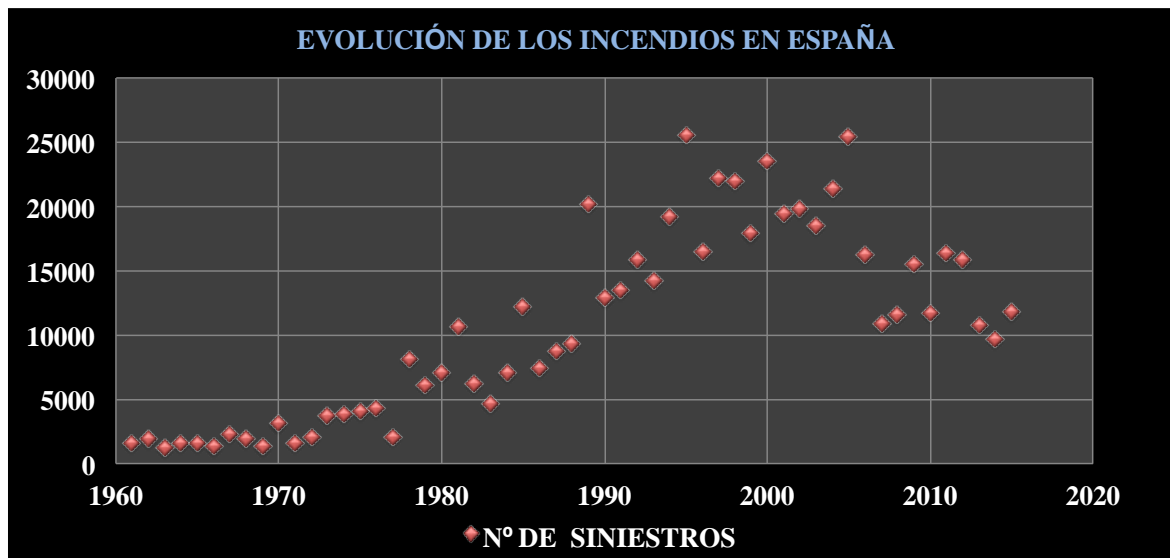


Grafico 1: Evolución de los incendios sucedidos en España (1960-2015)

Fuente: Magrama; Elaboración: Propia

En referencia al gráfico expuesto (*gráfico 1*) podemos destacar dos sucesos. Por un lado, se aprecia una concentración significativa en relación a la distribución de los incendios entre los años 1960-1976 frente a una repartición dispersa en las décadas posteriores, hecho que puede deberse a que anteriormente el paisaje era más homogéneo que el que se da en la actualidad.

Por otro lado, en lo que respecta al número de incendios ocurridos cabe resaltar un incremento notable a partir de la década de los 80, llegando a alcanzar un pico máximo de 26000 incendios aproximadamente entre los años 1996-2006. A partir de este momento se produce un punto de inflexión desencadenándose un descenso gradual hasta el momento actual. A todo ello, se le une que en la última parte del siglo XX empieza a intervenir la acción humana, generando con ello, una alteración de la dinámica de los incendios forestales gestando así una nueva fase calificada de “amenaza para muchos bosques y la diversidad que contienen.

Desde un enfoque general, si realizásemos un análisis del patrón de distribución de los incendios que domina en nuestro país, habría que dividir España en tres grandes regiones: Noroeste, Litoral Mediterráneo y resto de provincias del Interior. Dichas zonas, presentan grandes diferencias en cuanto a las condiciones climáticas y población demográfica en cuanto a se refieran, las cuales quedan reflejadas en la ocurrencia de los incendios forestales. Especialmente el Noroeste peninsular y el litoral mediterráneo

destacan por ser dos zonas climáticas que se caracterizan por ser una antagonista de la otra.

En nuestro mapa de superficies quemadas por provincias perteneciente al año 2010 (*figura 1*) indicamos como las zonas del norte peninsular se posicionan con los valores más altos de extensiones afectadas por el fuego frente al suroeste y la franja costera catalana que definen los valores más bajos.

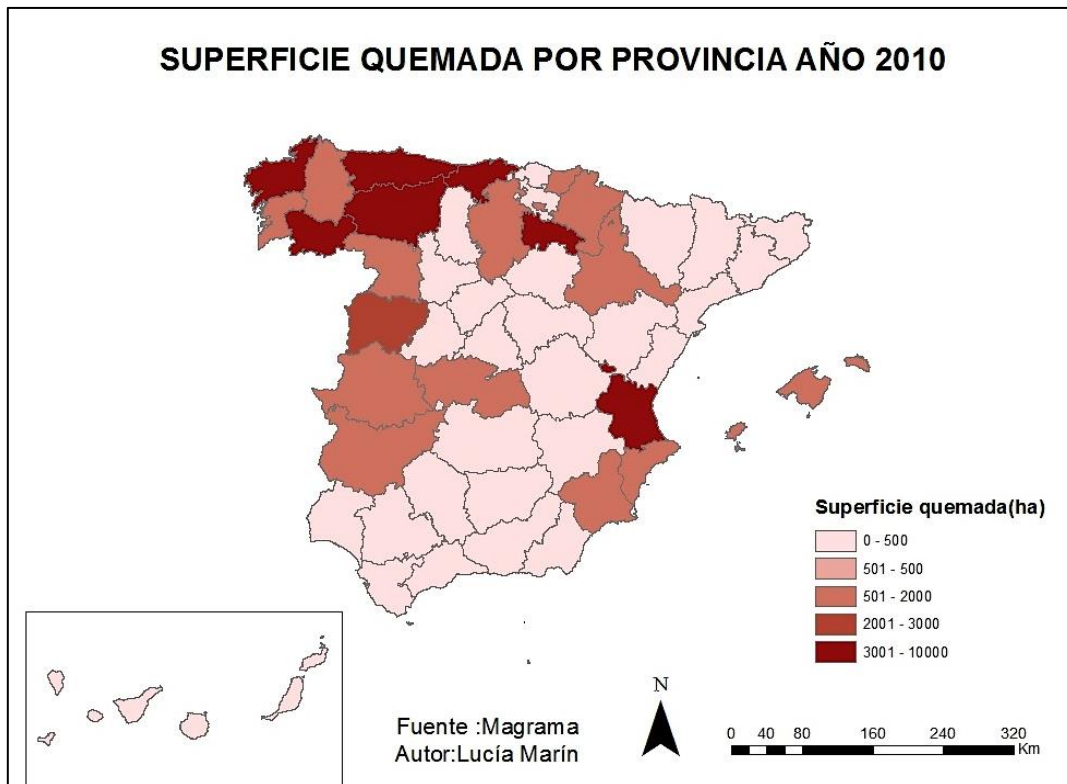


Figura 1: Superficie quemada por provincia año 2010
Fuente Magrama ; Elaboración: Lucía Marín

1. 2. 1 Los incendios forestales en el ambiente mediterráneo

Las regiones que conforman el ambiente mediterráneo, se caracterizan por tener un clima de transición entre el régimen templado oceánico y el tropical seco. Su rasgo más significativo es la coincidencia de la época seca con la cálida. Por ello, en verano predominan la influencia de los anticiclones subtropicales secos, razón que justifica que el ecosistema del mediterráneo sea más susceptible a sufrir incendios forestales, con una vegetación seca que unido a la existencia de una naturaleza inflamable favorece la propagación de los mismos.

El fuego como elemento natural ya estaba presente en el Mediterráneo desde épocas geológicas pasadas mucho antes de la aparición del hombre dando lugar a la composición vegetal de sus ecosistemas. Por tanto podemos destacar el papel de agente

modelador de los incendios sobre el paisaje, ya que desde épocas pasadas ha generado importantes transformaciones, que son necesarias interpretar para entender la configuración actual del paisaje y en concreto de la vegetación mediterránea.

De esta manera, los ecosistemas del mediterráneo se presentan como sensibles al fuego y en consecuencia, han tenido que desarrollarse adaptándose al mismo. Los impactos que genera el fuego en el paisaje mediterráneo son muy diversos dependiendo de la multitud de factores que inciden en el mismo, como pueden ser la intensidad y severidad del fuego especialmente la capacidad de respuesta de la cubierta vegetal, de regeneración, tipo de suelo, humedad, pendiente.

Existen dos grupos de especies vegetales según su respuesta al fuego:

– **Las especies rebrotadoras:** Son aquellas que regeneran con más rapidez la cobertura vegetal después de la ocurrencia de un incendio. Dentro de este grupo tenemos ejemplos como son: *Quercus suber*, *Quercus ilex*, *Juniperus Oxycedrus* entre otras. Asimismo, especial mención hay que hacer a la especie *Quercus coccifera* por la gran capacidad de rebrote que presenta después del incendio y por ser además la especie protagonista durante la recuperación de la cubierta vegetal forestal por antonomasia en la cuenca mediterránea. Otras especies incrementan su población después de los incendios: *Phyllirea angustifolia*, *Erica arborea* (Moreno *et al.* , 2004) y otras que tienden a decrecer con el aumento de la frecuencia de incendios. Entre ellas podemos resaltar: *Erica multiflora* (Lloret *et al.* , 2003), *Rhamnus alaternus* y *Smilax aspera* (Trabaud, 1973).

– **Las especies no rebrotadoras** o también llamadas germinadoras: Son aquellas que se adaptan a los incendios. El mecanismo de defensa que desarrollan se basa en retener las semillas durante un periodo largo de tiempo hasta que se dispersan a consecuencia del calor del incendio. Por consiguiente, el individuo muere pero es sustituido por otros que nacen de la misma semilla. Es decir, el individuo muere pero no la semilla. Como ejemplos de esta categoría encontramos las especies de *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus Sylvestris*... ya que las piñas se abren con el calor y dispersan los piñones, permitiendo así una regeneración rápida del pinar.

– Existen un tercer caso que son aquellas que ni rebrotan ni sus semillas resisten al fuego sino que mueren y colonizan el espacio desde los extremos de la zona quemada.

En definitiva, las comunidades vegetales que conforman el ecosistema del mediterráneo se definen como aptas al fuego con una alta resiliencia a los incendios forestales, lo que quiere decir, que disponen de una gran capacidad para volver a las condiciones previas a que se desencadenara el incendio. Sin embargo, hay que contrastar que no se adaptan a cualquier régimen de incendios sino a aquel que permanece en un ecosistema por largo

tiempo, por lo que un cambio de en el régimen de incendios podría tener consecuencias bastante negativas en la sostenibilidad de algunos componentes.

1. 2. 2 Los incendios en la Comunidad Autónoma de Aragón: el caso de Teruel

En cuanto a la Comunidad Autónoma de Aragón, los incendios forestales han experimentado un cambio sustancial en lo que a número de incendios ocurridos se refiere desde ya hace varios años. Si observamos la gráfica adjunta (*gráfico 2*) donde se representa la evolución temporal de los incendios en toda la comunidad Autónoma tanto en Zaragoza, como en Huesca y Teruel, podemos despuntar como a partir del año 2005 se empiezan a dibujar cambios en el régimen de incendios dejando constancia como un fenómeno tan natural como era el fuego, un agente modelador del paisaje, ha pasado a convertirse en un grave e importante problema especialmente de tipo social y económico.

En lo que respecta al escenario de Teruel, que es en el cual se va a desenvolver nuestro proyecto, este problema se ha agravado todavía mucho más, con un impacto cada vez más acusado que deja patente la necesidad de imponer nuevas formas de gestión para abordar este panorama. Desde 1996 hasta el 2014(*gráfico 2*) los incendios han estado presentes en la región, hasta el punto de que han llegado a convertirse en un elemento conformador de la misma. En base a los datos obtenidos del Gobierno de Aragón (*Aragón. es, 2016*), podemos resaltar como los años 2005, 2007 y 2009 son los más significativos para el territorio por los daños tanto naturales como humanos que ocasionaron. En definitiva, a grandes rasgos, se puede discriminar como el mayor número de incendios sucedido se concentra principalmente en de la última década.

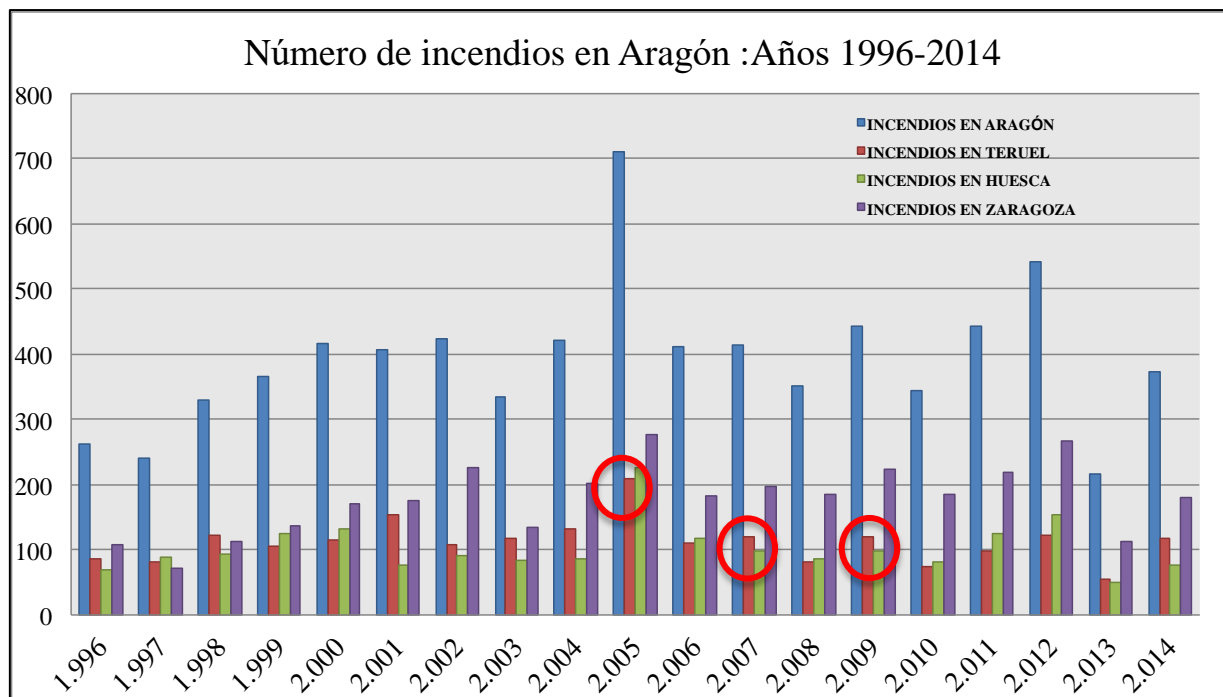


Grafico 2: Evolución de los incendios sucedidos en Aragón (1996-2014)

Fuente: Gobierno de Aragón; Elaboración: Propia

1. 2 Aplicación de la Teledetección al estudio de los incendios forestales

En este apartado nos vamos a centrar en presentar las ventajas que ha supuesto la teledetección en el conocimiento del comportamiento de los incendios forestales. La teledetección, que como ya hemos definido con anterioridad, es la obtención de una información proveniente de un objeto o fenómeno a través de diversos instrumentos, ha manifestado importantes cambios en los últimos años. Resulta casi obvio resaltar la importancia que supone disponer de información suficientemente precisa y actualizada de cara a una mejora del conocimiento y gestión del territorio. La Teledetección ha sufrido importantes cambios, el avance tecnológico está presente y permite brindarnos cada vez más con un tipo de información más diversificada sobre un conjunto amplio de variables de interés ambiental. Uno de las razones por las cuales la Teledetección está adquiriendo un papel imprescindible en la actualidad, la lidera la preocupación e interés por el cambio global.

La primera característica está enfocada a su *capacidad de visión global del fenómeno-problema* ya que nos permite conocer y acceder a regiones no visibles del espectro con lo que no era posible con el sistema tradicional gracias a su cobertura total del terreno y continua. Gracias a la información que obtenemos de los sensores remotos instalados en los satélites, podemos realizar seguimientos exhaustivos de los diferentes procesos ambientales presentes en nuestro planeta como es en nuestro caso los incendios

forestales. Estos datos se registran y se transmiten en formato digital, lo que permite procesarlos con ayuda de equipos informáticos, garantizando un tratamiento automático, rápido y razonablemente objetivo (Chuvieco, 2009).

Otra de las ventajas presentes, se encuentra en la frecuencia y en la homogeneidad de adquisición. En función de las características de las órbitas de los satélites estos tienen capacidad para pasar por el mismo punto con una frecuencia temporal determinada. Esto permite realizar un seguimiento multitemporal del procesos dinámicos como ocurre en el caso de los incendios (Chuvieco, 2010).

La justificación del empleo de la teledetección como herramienta de análisis de eventos de tal envergadura como son los incendios, se supedita a que se ha convertido en una alternativa útil que requiere mucho menos esfuerzo y mano de obra frente a los métodos tradicionales como son la fotografía aérea o la observación directa.

En definitiva la ciencia de la Teledetección nos permite llevar a cabo una observación sistemática de toda la superficie de la tierra, en las diversas bandas del espectro electromagnético, algunas de las cuales son sensibles a la discriminación de la señal de la vegetación quemada (Chuvieco, 2002). En los últimos años han ido cobrando interés nuevos métodos que nos permiten la discriminación de aquellas superficies forestales quemada, caracterizados por el empleo de índices espectrales como es el NDVI, del cual haremos uso en nuestro trabajo, tal como hemos planteado inicialmente en los objetivos propuestos. En definitiva, el empleo de los índices de vegetación que hemos obtenidos de la combinación de las bandas espectrales junto a las imágenes Landsat se han presentado como las herramientas más aptas en este contexto.

1. 3 Imágenes de satélite e índices espectrales más empleados para el análisis de los incendios forestales.

La *Teledetección* se define en la actualidad como una herramienta frecuente en el análisis y cartografía de los incendios forestales. Como ya hemos destacado con anterioridad, una de las aplicaciones más manejadas en la Teledetección en el panorama de los incendios forestales se fundamenta en el estudio multitemporal de los mismos mediante el uso de imágenes de satélite y la aplicación sistemática de índices espectrales.

En primera lugar decir que las imágenes de satélite ofrecen visiones e instantáneas del terreno, lo que aplicado al contexto de análisis y seguimiento de los incendios forestales resulta ser imprescindible. Tanto las imágenes antes, durante y después del incendio permiten actuar más adecuadamente y así poder minimizar al máximo posible los daños.

Los satélites más adecuados para este tipo de trabajos por el grado de detalle que ofrecen son los de resolución espacial media: SPOT-HVR, IRS-WIFS/A WIFS y los satélites Landsat TM/ETM+. Estos últimos son los más empleados en este tipo de investigaciones. Los satélites Landsat, se caracterizan por ser satélites de órbita polar diseñados con el fin de llevar a cabo una observación del medio ambiente en la tierra y la evaluación de sus recursos naturales.

Para poder obtener un resultado óptimo en la cartografía de los incendios, así como en el análisis e interpretación de los índices de vegetación es necesario disponer de imágenes de satélite con una alta resolución tanto espectral como espacial y temporal. Por ello, las imágenes de satélite más empleadas van a ser las imágenes Landsat tanto las TM (Thematic Mapper) como las ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) para este tipo de estudios. El programa Landsat comenzó en el año 1972 con el lanzamiento del Landsat-1. En 1999 se lanzó el más reciente Landsat-7 y en 1984 Landsat-5 siendo este el satélite de teledetección que más tiempo lleva en órbita operativo. Actualmente, solo están activos los satélites LANDAT 5, 7 y 8 administrados por la NASA mientras que la producción y comercialización de las imágenes esta al cargo del servicio geológico de los estados Unidos (USGS).

Para poder obtener un resultado óptimo en la cartografía de los incendios, así como en el análisis e interpretación de los índices de vegetación es preciso disponer de imágenes de satélite con una alta resolución tanto espectral como espacial y temporal. Por ello, las imágenes de satélite más empleadas van a ser las imágenes Landsat tanto las TM (Thematic Mapper) como las ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) para este tipo de estudios.

En lo que respecta al satélite Landsat 5 pertenece a la familia de satélites Landsat, lanzados el 1 de marzo de 1984. Este satélite se caracteriza por disponer de un sensor TM. Este sensor de barrido multispectral se diferencia del sensor MSS en la mayor

resolución espacial, mejor discriminación espectral entre los objetos de la superficie terrestre, mayor fidelidad geométrica y una mayor precisión radiométrica que dispone.

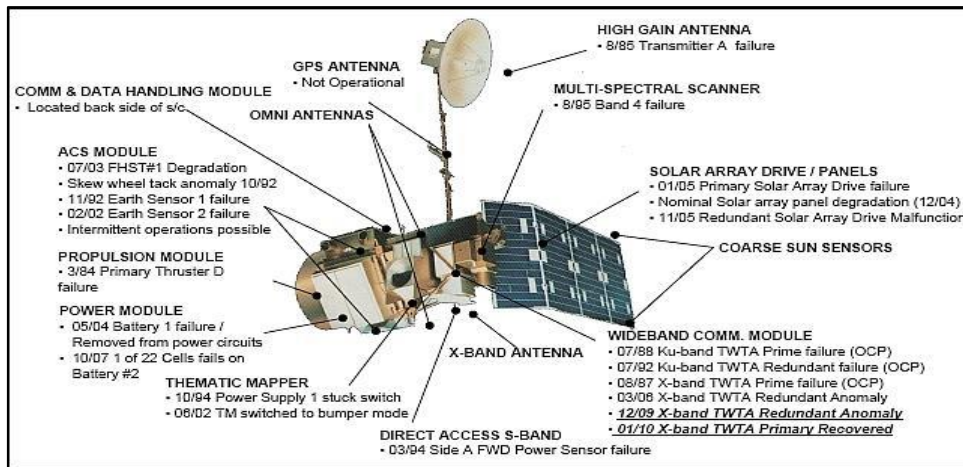


Figura 2: Satélite Landsat 5

Fuente: Sharing Earth Observation Resources

El satélite Landsat 8 fue puesto en marcha el 11 de febrero del 2013. Este satélite tenía por objetivo sustituir al satélite 5 TM y Landsat ETM con sus dos instrumentos el sensor OLI y el sensor Tirs. Los rasgos definitorios de este satélite se basan en la existencia de 11 bandas espectrales 9 de ellas tomadas por el sensor OLI y 2 por el sensor Tirs. La mejora que supone respecto al resto de satélites de la serie landsat coexiste en que este incorpora dos nuevas bandas espectrales, un canal profundo en el azul visible (banda 1) diseñados para el estudio de los recursos hídricos así como de las zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda9) para la detección de nubes cirrus espectrales.



Figura 3: Satélite Landsat 8

Fuente: Sharing Earth Observation Resource

Las imágenes LANDSAT están formadas por 7 u 8 bandas espectrales, las cuales pueden combinarse generando una gama de imágenes de color que aumentan de forma notable sus aplicaciones. Estas imágenes dan respuesta sobre las características geológicas, litológicas, estructurales de las rocas de la superficie terrestre y otros aspectos presentes como son los respectivos a la vegetación.

En lo que respecta a los índices espectrales, estos se definen como la combinación de dos o más bandas que conforman las imágenes de satélite. La aplicación de estos índices nos permite distinguir diferentes tipos de cubierta en base a su comportamiento espectral. Este tipo de índices dependen del método utilizado, pueden ser aplicados tanto en imágenes pre como post-incendio pero en definitiva destacan por su idoneidad para la obtención de cartografía de áreas quemadas.

A continuación se adjunta un cuadro explicativo de los índices espectrales mas empleado para este tipo de metodología:

Tabla 1: Índices espectrales más empleados para la cartografía de áreas quemadas

| Índice Espectral | Definición |
|---|---|
| Burned Area Index (BAI) | Es un índice diseñado para la cartografía del área quemada basándose en el comportamiento espectral de los materiales carbonizados y de las cenizas producidos tras un incendio (Martín, 1998) |
| Burnt Area Index For Modis(BAIM) | Es la inversa de la distancia euclidiana entre el valor de reflectividad de cada píxel de la imagen y el valor del punto de convergencia en un espacio espectral adecuado a las posibilidades ofrecidas por el sensor MODIS. (Martin, 2005) |
| Normalized Burnt Ratio (NBR) | Cociente normalizado tipo NDVI que emplea información del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta (Rogan y Franklin, 2001) |
| NDVI(normalized difference vegetation index) | Parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda y es particularmente sensible a la cubierta vegetal(Gilabert, 1997) |

2. OBJETIVOS PROPUESTOS DEL TRABAJO

El objetivo principal del presente trabajo se basa en la cartografía y caracterización de la serie de incendios sucedidos en la provincia de Teruel en el verano de julio de 2009.

Este objetivo principal se ha llevado a cabo mediante la consecución de los siguientes objetivos parciales, alcanzados a partir del uso de técnicas de teledetección:

- Delimitación e identificación de las áreas quemadas.
- Análisis de la severidad inmediatamente después del fuego.
- Análisis de la regeneración vegetal a largo plazo.
- Establecimiento de relaciones entre la severidad y el proceso de regeneración.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Como ya se ha hecho referencia al comienzo de este trabajo, se va a llevar a cabo el análisis de los incendios más relevantes del verano de 2009, ya sea por su extensión o por el ámbito afectado y las características de los mismos. El fuego analizado afectó a seis municipios: **Aliaga, Alloza, Valdetormo, Mazaleón, Los Olmos y Corbalán**. Cada uno de estos incendios, presenta una serie de particularidades que los hace singulares y especiales respecto a la serie de incendios registrados a lo largo de la historia en la provincia turolense. El ámbito de estudio de este proyecto se enmarca dentro de la provincia turolense (40°40'00"N 0°40'00"O) por lo que realizara un estudio de sus principales características que nos dan pie al entendimiento de este problema.



Figura 4: Localización del área de estudio: Aliaga, Alloza, Corbalán, Valdetormo, Mazaleón y Corbalán
Fuente: Google Earth

El territorio de Teruel se desarrolla sobre un zócalo paleozoico conformado por una gama de materiales entre los que se distinguen las pizarras y cuarcitas respectivamente. En las depresiones que se formaron durante la orogenia alpina se han originado acumulaciones de materiales terciarios y cuaternarios (arcillas, margas rojizas, yesos y calizas). Por tanto, hablamos de relieves que se han trabajado sobre materiales calcáreos mesozoicos plegados pero intensamente fracturados y rasgados por cañones abiertos de erosión fluvial.

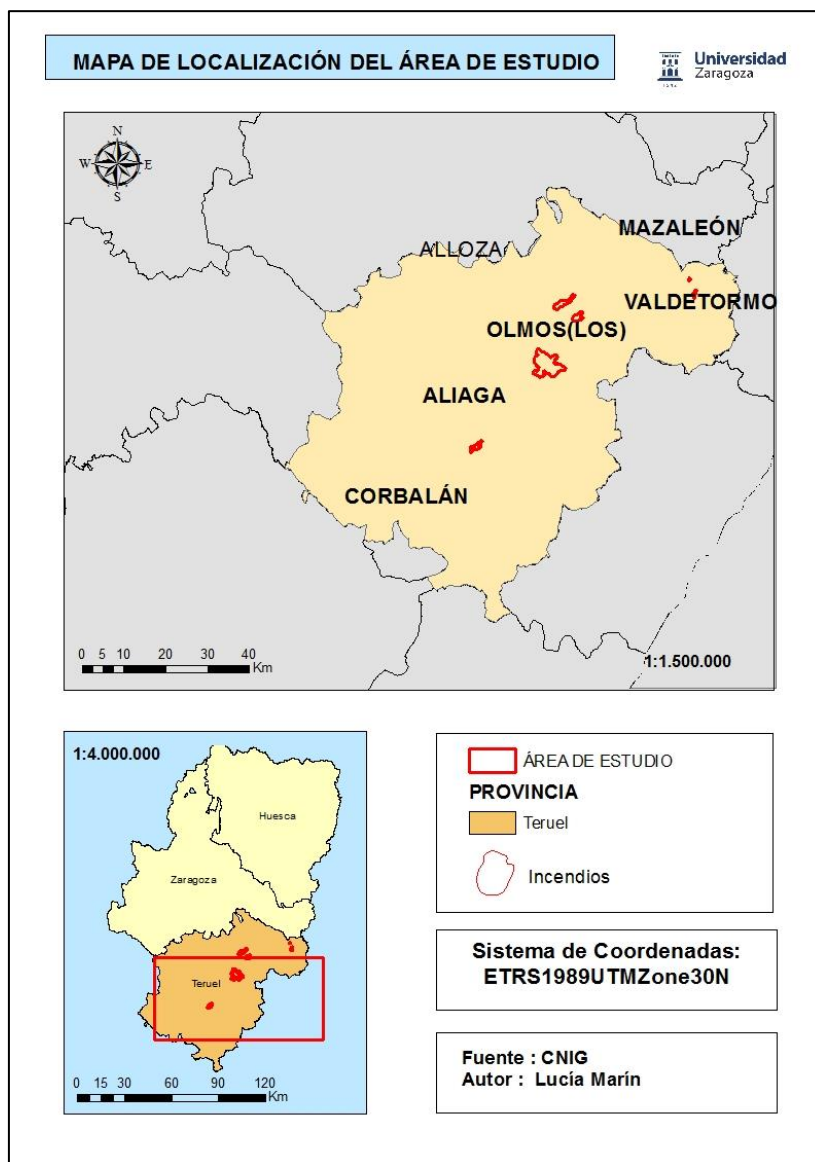


Figura 5: Mapa de localización de nuestra zona de estudio

Fuente: CNIG; Elaboración: Propia

3. 1 Características climáticas

En primer lugar, el análisis de las características climáticas es relevante para poder conocer y especialmente entender las causas que han motivado al desarrollo y como ha afectado el incendio al territorio, la severidad del mismo, pero debido al límite de extensión nos centraremos en hacer una reseña de las características climáticas más significativas y que son la base explicativa de que se produzca este tipo de fenómenos en el territorio.

Teruel presenta unas singulares condiciones climáticas como consecuencia de tres factores geográficos que inciden de forma conjunta sobre el territorio: el relieve turolense, la altitud pero especialmente es su situación frente a las cadenas montañosas (Sierras de Javalambre, Gúdar, Palomera y los Montes Universales) la que la aíslan de las influencias marinas y le da una personalidad única. Estas barreras naturales son las que le otorgan a Teruel el dominio de un medio físico expuesto a los vientos del norte. Por ello, atendiendo a estos componentes, el clima de Teruel se define como **mediterráneo de tipo continentalizado**.

Por lo que se refiere a sus características termo-pluviométricas, el clima mediterráneo continental se singulariza por ser un clima de fuertes contrastes térmicos entre el invierno y el verano y unas precipitaciones que como hemos citado anteriormente son relativamente bajas como consecuencia de la disposición de su relieve que lo asila del paso de las borrascas atlánticas además de las perturbaciones mediterráneas. Las precipitaciones destacan por su escasez, irregularidad interanual y su reparto desigual a lo largo del año.

La altitud como hemos señalado es un factor clave por no decir el más destacado en la definición del régimen climático de Teruel y guarda su relejo en las diferencias que encontramos entre las zonas llanas, como son las depresiones frente a las zonas altas de montaña. De esta forma, en las regiones que registran las mayores altitudes de la provincia podemos encontrar valores de precipitaciones que giran en torno a los 500-600 mm y temperaturas medias por debajo de los 10 ° con abundantes nevadas situándose así la nevada por debajo de los 20 ° bajo cero. Por otro lado, los veranos son suaves y con unos valores de temperatura media mensual que rondan los 20°.

Con respecto a los rasgos climáticos de las zonas llanas, encontramos valores pluviométricos no muy diferentes sino moderadamente más bajos, hecho que guarda su lógica ya que hablamos de terrenos que se encuentran situados a un altitud más baja. El registro pluviométrico atiende a los 400-500 mm con máximos de precipitación que se dan en primavera y otoño y un verano no muy seco debido a la ocurrencia de tormentas propias de esta época. Por el contrario, las mínimas se producen en invierno como consecuencia de la acción del anticiclón térmico. Por último, en lo que se refiere a las temperaturas, la media mensual oscila entre los 11-13 ° con valores de 25 ° para el mes más cálido y 5 ° para el mes más frío.

Unos de los ejemplos más representativos de tales efectos climáticos lo constituye la comarca de Aliaga, la cual se rige por unas precipitaciones que sitúan alrededor de los 510 mm.

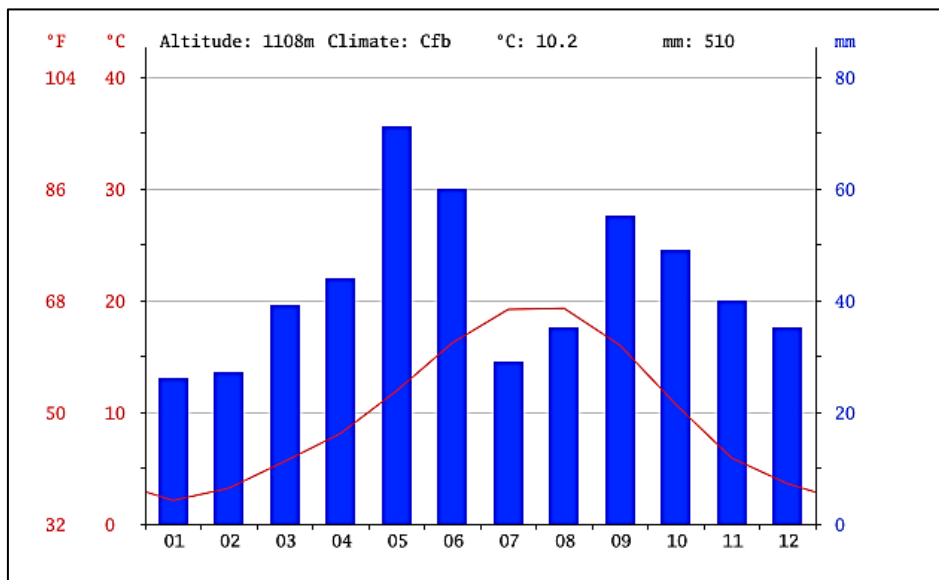


Gráfico 3: *Climograma de Aliaga*

Fuente: Climate-data. org

Para finalizar, el último elemento climático que vamos a analizar es el referente a la insolación, ya que junto al régimen de precipitaciones y temperaturas, justifican de alguna manera que se originen incendios en la provincia.

Los datos de evapotranspiraciones nos ayudan a comprender y a evidenciar la situación anteriormente descrita ya que estos, son representativos de una realidad en la que predomina el déficit de agua. Nos encontramos de nuevo frente a fuertes contrastes espaciales entre el llano y la montaña. Por último, otro elemento que conviene que sea destacado en el análisis climático, es la radiación solar, ya que junto al régimen de precipitaciones y temperaturas juega un papel importante en la manifestación de los incendios forestales en el contexto de la provincia turolense. Teruel, por la situación latitudinal en la que se encuentra, recibe una radiación solar durante 4. 470 horas cada año pero dentro de la misma cabe resaltar que cada superficie no va a recibir la misma cantidad y esta dependerá de la incidencia de diversos factores en los que hay que hacer especial mención a cuatro que son: orientación, inclinación, latitud y condiciones atmosféricas. Según el Atlas de Radiación Solar publicado por el Gobierno de Aragón, Teruel destaca por disponer los valores más altos a consecuencia de la menor latitud.

3. 2 Superficie forestal

Los ecosistemas forestales representan uno de los medios más importantes para los seres vivos debido a dos razones esencialmente: Por un lado, por la diversidad biológica que supone, pero también por su estrecha relación con el desarrollo humano. Es por ello que Teruel se presenta como un importante espacio forestal donde convergen diferentes formaciones vegetales que otorgan un conjunto de rasgos distintos a la misma.

Según el Mapa Forestal de España 1:50. 000 (MFE50), una de las mejores fuentes en lo que a información de superficies y usos forestales se refiere, Teruel destaca por una distribución plenamente forestal ya que el 64,4 % del territorio de Teruel es de uso forestal. Los datos del tercer inventario forestal nacional indican una superficie forestal de 930. 000 hectáreas. La situación de la vegetación en la provincia de Teruel ha variado en las últimas décadas llegando a encontrarse en la actualidad, en una fase de regresión como consecuencia de la explotación humana. Por ello, no es de extrañar que el 30 % de la superficie este dedicada a las tierras labradas para cultivos y que solo el 26 % del territorio según el MFE50 lo conformen la superficie arbolada junto con especies forestales.

En relación con las características climáticas de las que hemos hablado con anterioridad, la vegetación está condicionada por la conjunción de las características climáticas y las geográficas donde entra a juego la altitud, y es que esta última, condiciona por un lado la pluviometría, conforme ascendemos en altitud, las precipitaciones se ven incrementadas pero por otro lado también influye en los extremos térmicos para el desarrollo de ciertas especies. Por ello atendiendo a estas razones, la localización de cada especie va a ser diferente en función a donde esta se localice y desarrolle.

En el mapa forestal de Teruel (*figura 6*) hemos representado un total de 21 categorías de forestales en base a la leyenda que ofrecía el mapa forestal de España 1:50. 000:

- *Acebuchares*
- *Arbolado disperso de coníferas*
- *Arbolado disperso de frondosas*
- *Bosque mixtos de frondosas*
- *Bosques ribereños*
- *Choperas*
- *Encinares*
- *Enebrales*
- *Melojares*
- *Mezclas de coníferas y frondosas autóctonas*
- *Pinares de pino albar*
- *Pinares de pino carrasco*
- *Pinares de pino negro*

- *Pinares de pino pinaster*
- *Pinares de piño piñonero*
- *Pinares de pino Salgareño*
- *Quejigares*
- *Sabinas albares*
- *Sabinas de juniperus phoenicia*
- *Cultivos*

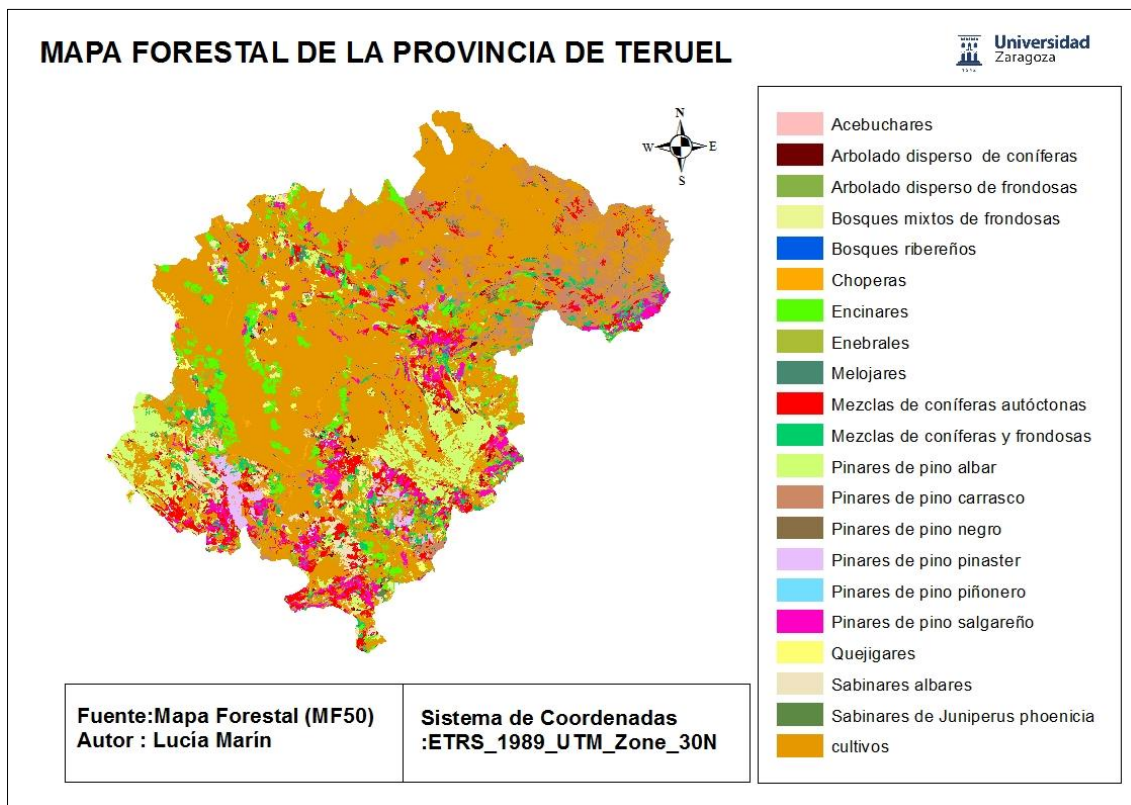


Figura 6: Mapa Forestal de Teruel

Fuente: Mapa Forestal 1:50. 000; *Elaboración:* propia

En base a este mapa, podemos observar como en lo que respecta a la vegetación arbolada de los bosques, encontramos un predominio de coníferas más que frondosas en las zonas de montaña: En primer lugar destaca la formación arbórea de pinares de pino albar tanto en la parte sureste como en la parte occidental que coexisten junto a formaciones de pinares de *pino pinaster*, pinares de *pino piñonero*, pinares de *pino salgareño* y en una proporción relativamente menor formaciones de pinares de *pino negro*.

Otro rasgo también que nos llama la atención, es su distribución espacial en grandes extensiones continuas como consecuencia del abandono de los campos de cultivo y de

los pastos por la intensa actividad repobladora y la inexistencia de infraestructuras urbanas industriales o de comunicaciones que supongan una ruptura de la misma.

En cuanto a la composición de la superficie arbolada en la provincia de Teruel, nos encontramos con los pinares como la especie arbolada que más predomina en nuestra área de estudio. En cuanto a su composición (tabla 2) los pinares están poblados mayoritariamente por pino silvestre (*Pinus Sylvestris*) con un 16 %, y pino negral (*Pinus nigra*) con 11, 1 % y el pino carrasco (*Pinus halepensis*) con un 18 % respectivamente. Se trata de especies que presentan importantes limitaciones de regeneración tras la ocurrencia de un incendio. Junto a ello, observamos que la siguiente especie que le precede son las encinas (*Quercus Ilex*) con un 18,2 % y la especie *Juniperus thirifera* con un 13 %.

Tabla 2: Composición de la superficie forestal de Teruel

| Especie | Ha | % |
|--|-----------------|----------|
| Pinus sylvestris | 94,053 | 16 |
| Pinus sylvestris con otras especies | 32. 792 | 5,6 |
| Pinus nigra | 65. 246 | 11,1 |
| Pinus pinaster | 24. 705 | 4,2 |
| Pinus Halepensis | 95. 688 | 16,3 |
| Plantaciones de pinos | 21. 181 | 3,6 |
| Juniperus thurifera y Juniperus thurifera con otras especies | 76. 11176. 111 | 13 |
| Quercus ilex solo o con otras especies | 105. 532 | 18,2 |
| Quercus faginea y Quercus faginea con Pinus pinaster | 23. 066 | 3,9 |
| Árboles de ribera y plantaciones Populuss spp | 8. 653 | 1,5 |
| Matorral con arbolado ralo y disperso | 38. 388 | 6,5 |
| Total arbolado | 586. 414 | |

Fuente: Tercer Inventario Forestal Nacional

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se realizará una descripción detallada de los materiales empleados así como de los procedimientos aplicados para su manipulación dentro del contexto de las nuevas tecnologías de la información geográfica como es la Teledetección.

4. 1. DATOS EMPLEADOS: IMÁGENES DE SATÉLITE

4. 1. 1. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)

El Servicio Geológico de los Estados Unidos conocido como **USGS** es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Esta agencia se divide a su vez en cuatro disciplinas científicas a través de las cuáles los científicos realizan estudios acerca del terreno, los recursos naturales y los peligros naturales que los amenazan forestales. Estas son: Biología, geología, hidrología y geografía dentro de la cual se enmarcan el análisis de las áreas quemadas.

La fuente de datos USGS proporciona datos del satélite Landsat de forma gratuita de los E. E. UU. A través de ella, podemos acceder a esta información a través de su mapa web. Una de las condiciones que impone es que hay que registrarse previamente para la descarga de los datos. Esta página web (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) se caracteriza por la fiabilidad y la facilidad en lo referente a la adquisición de datos y por el grado de detalle de los mismos.

4. 2. 1 Selección y descarga de las imágenes de satélite

En el campo de la Teledetección, encontramos una gran variedad de técnicas que nos garantizan la posibilidad de elaborar una cartografía de aquellas superficies quemadas como consecuencia de la acción de los incendios forestales. Uno de los métodos más empleados para la realización de este procedimiento es la comparación entre dos imágenes, una antes y otra después del incendio basado en la diferencia entre las bandas. Para ello, el primer paso que hemos tenido que realizar ha sido la descarga de las imágenes de satélite de nuestra zona de estudio.

Como todo trabajo en el que se empleen imágenes de satélite, supone en primer lugar la selección del sensor a utilizar y la fecha de adquisición. Así en el proceso de descarga se definieron los criterios espaciales (Path: 199; Row: 33) y las fechas previas y posteriores a los episodios de fuego. Es necesario resaltar que durante la fase de elección de nuestras imágenes nos encontramos ante ciertas dificultades causadas por la presencia de nubes.

Por un lado, adquiriremos una imagen satélite de la zona de estudio previa al comienzo del incendio y otra posterior al mismo. De forma complementaria, descargaremos

también la imagen de satélite del año 2015 ya que queremos analizar cómo ha sido el procedo regenerativo de la vegetación.

Tabla 3: Fecha de las imágenes de satélite utilizadas para el cálculo de variables

| Año | 2009 | 2015 |
|----------------|------------|-------------|
| Pre-incendio | 22/06/2009 | 10/8/2015 |
| Post –incendio | 24/07/2009 | 10/8/2015 |
| Satélite | L4-5 TM | L8/OLI/TIRS |

Fuente: USGS Earth Explorer <http://earthexplorer.usgs.gov/>

Tal como se muestra en la tabla adjuntada, las imágenes que hemos seleccionado pertenecer al satélite L4-5 sensor TM, el cual se caracteriza por proporcionar imágenes de 8 bits en siete bandas espectrales, tres visibles (1 a 3), una en el infrarrojo próximo (4) y dos en el medio (5 y 7) y una en el térmico (6), con una resolución espacial de 30 m en las reflectivas.

4. 2 DELIMITACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS

Para la delimitación de nuestras áreas quemadas hemos hecho uso de dos técnicas presentes en el campo de la teledetección: Composiciones de color y al análisis multitemporal pre/post fuego del índice de vegetación NDVI.

4. 2. 1 Composición de color

Tras la descarga de las imágenes de satélite de nuestra zona de estudio, estas son importadas en el software ArcGis versión 10. 3 para identificar y perimetrar las áreas. Para ello hemos empleado una composición de falso color 7, 4,3.

Este tipo de combinación, es la que mejor representa la vegetación y los incendios. En ella se visualizan las dos bandas que mejor responden a los efectos del fuego y son la banda 7 (infrarrojo medio) sensible al contenido de humedad y la banda 4 (infrarrojo cercano) sensible al estado de vegetación.

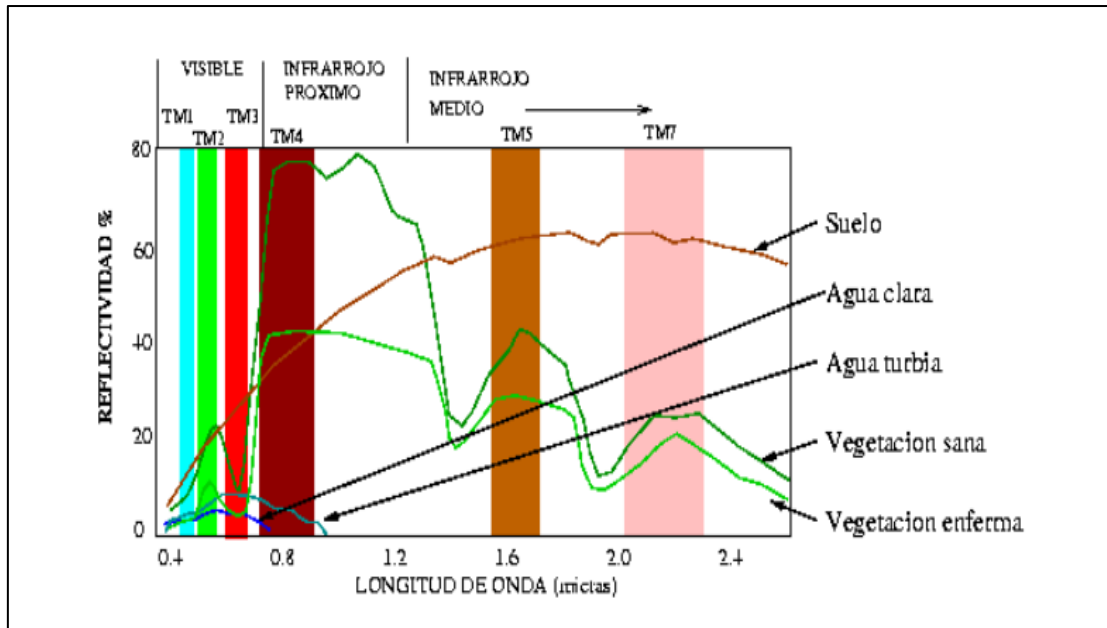


Figura 7: Firmas espectrales

Fuente: Chuvieco

En esta composición, la vegetación sana aparecerá en colores verdes representativa de que están en buen estado y con cierto rigor vegetal frente a las que se registran en las bandas del rojo y del SWIR como respuesta a la absorción de los pigmentos vegetales y de la humedad de la vegetación.

La firma espectral de la vegetación sana (figura 8) viene representada por una reflectividad alta en el infrarrojo cercano y por una alta absorción en el SWIR, ya que como ya sabemos esta banda representa el estado de humedad de la vegetación y por tanto en este caso es baja su reflectividad como consecuencia de un alto contenido de humedad.

Por el contrario si se da cualquier fenómeno o proceso que puede suscitar un estrés para la vegetación como es el fuego, los pigmentos que antes absorbían buena parte de la radiación dejan de hacerlo y es cuando la reflectividad en el infrarrojo cercano disminuye y la del SWIR aumenta como reflejo de la sequedad a la que se encuentra la vegetación. Como representamos con el rojo la banda del SWIR, el área que se haya visto afectada por el foco de fuego se identificara a través de los tonos rojizos que simboliza las zonas secas.

Como muestra de lo realizado, se presenta a continuación (figura 8) la imagen posterior al incendio en una composición de falso color 7, 4, 3. En ella apreciamos los incendios aparecen representados en tonos intensos de rojos y rosas frente al resto de la superficie reflejando la ausencia de humedad y de vegetación.

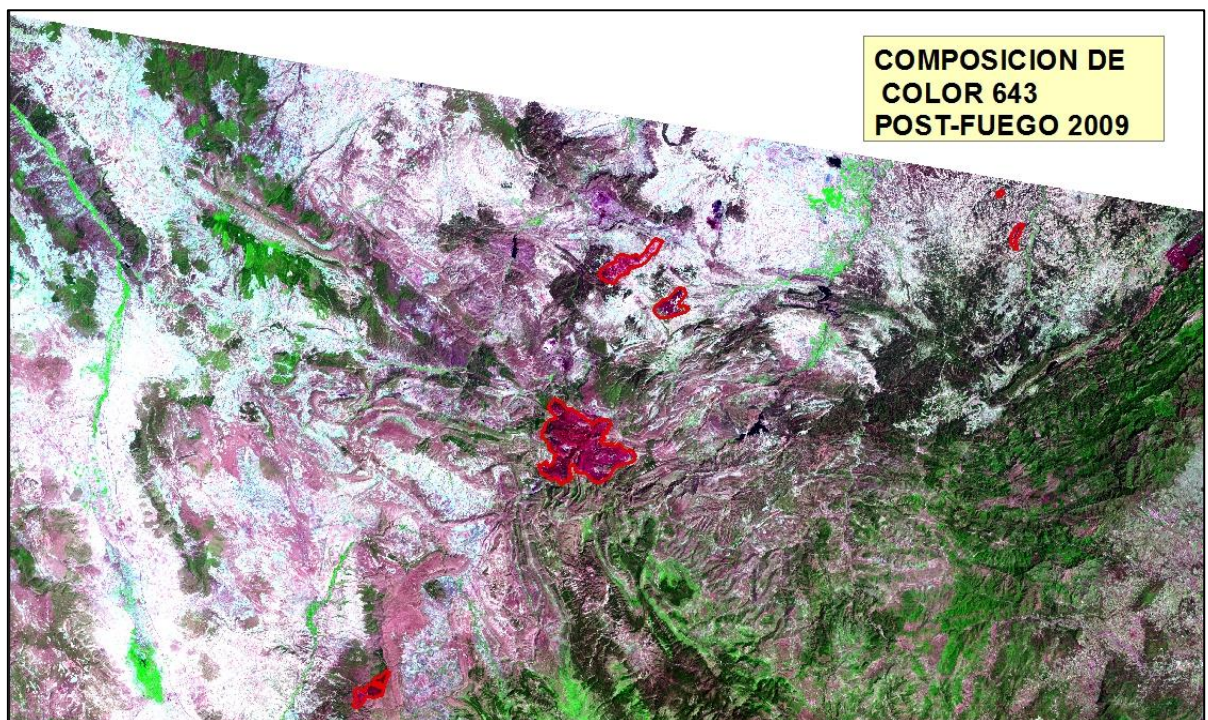


Figura 8: Composición de falso color 7, 4,3 pre incendio 2009
Fuente-USGS Earth Explorer; Elaboración: Propia

4. 2. 2 Análisis multitemporal del índice NDVI

Los neocanales pueden definirse como el resultado de transformaciones realizadas sobre las bandas espectrales de una imagen de satélite con el objetivo de conseguir nuevas dimensiones de la información espectral. (Chuvieco, 1996). Dentro de la generación de estos neocanales se localizan los Índices de Vegetación. Estos índices, nos ayudan a caracterizar el estado vital de la vegetación y por lo tanto resultan de verdadera utilidad en este tipo de trabajos, gracias a su capacidad de discriminación de la vegetación afectada de la que no.

El índice de vegetación de diferencia normalizada como cualquier índice de vegetación se calcula a partir de los datos de reflectividad a distintas longitudes de onda para extraer información relacionada con la vegetación (Gilbert, 1997).

El índice de vegetación NDVI en ArcGis se calcula a partir de la resta de los valores de reflectividad de la banda del rojo (banda 3) y del infrarrojo próximo (banda 4) de una imagen. Para ello se realiza la siguiente ecuación¹:

¹ Cuando empleamos el Landsat 8 la banda 3 que es la banda del rojo aparece representada en la banda 5 por lo que la formula cambiará y será la siguiente: $NDVI = (IFC-SWIR)/(IFC+SWIR)$

$$\text{NDVI} = (\text{IFC}-\text{R}) / (\text{IFC}+\text{R})$$

Dónde:

- **IFC** = Banda 4 de la imagen
- **R** = Banda 3 de la imagen

La información que nos aportara este índice va a ser principalmente:

- Conocimiento sobre la dinámica fenológica
- Contenido de clorofila de la vegetación
- Contenido de agua

Este índice fue aplicado tanto en la imagen tanto pre como post fuego del año 2009 y del año 2015, con el objeto, de conocer la evolución de la vegetación y poder corroborar si estas han regenerado o no. A continuación se muestra un ejemplo de la digitalización del NDVI de la imagen post(*figura 9*) y pre-fuego(*figura 10*) de los incendios de 2009, donde se puede apreciar como las zonas que aparecen simbolizadas en colores más claros son representativas de un NDVI alto, ya que muestran una reflectividad alta frente a las que aparecen en tonos más oscuras y por tanto de baja reflectividad significativas de su estado seco. Las diferencias entre ambas imágenes de satélite son notables y reflejan los efectos del fuego tras el desencadenamiento del incendio.

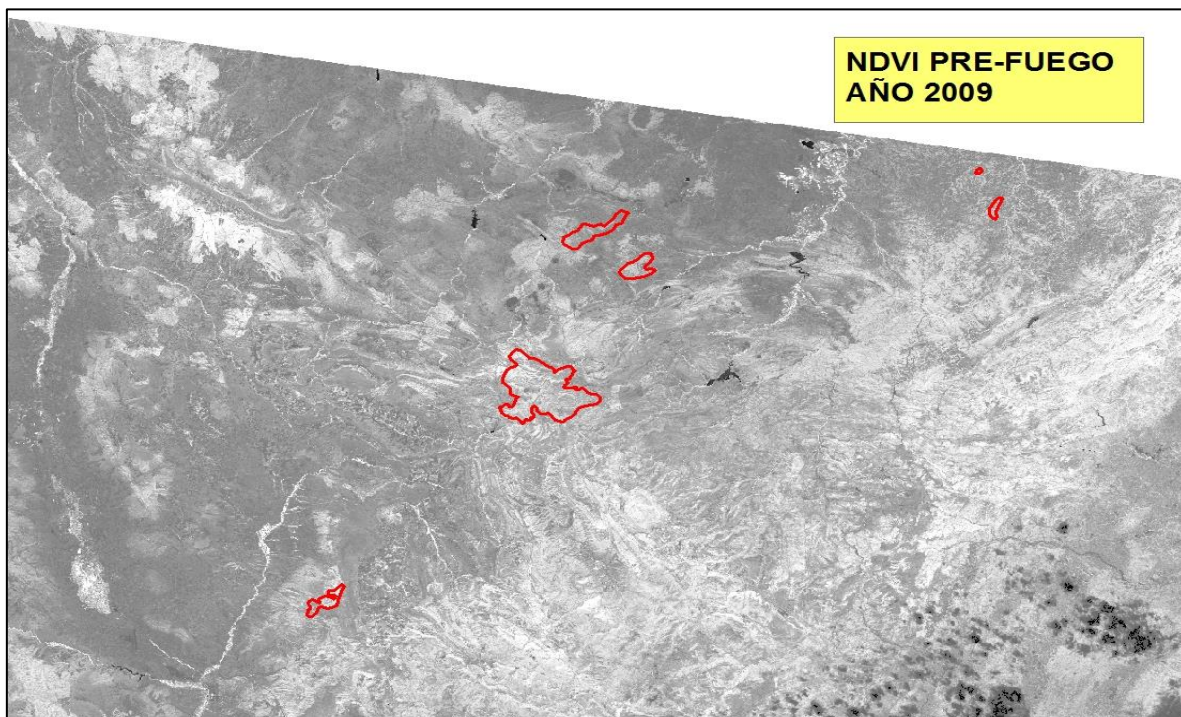


Figura 9: Digitalización NDVI pre-fuego de los incendios del 2009

Fuente-USGS Earth Explorer;Elaboración:Propia.

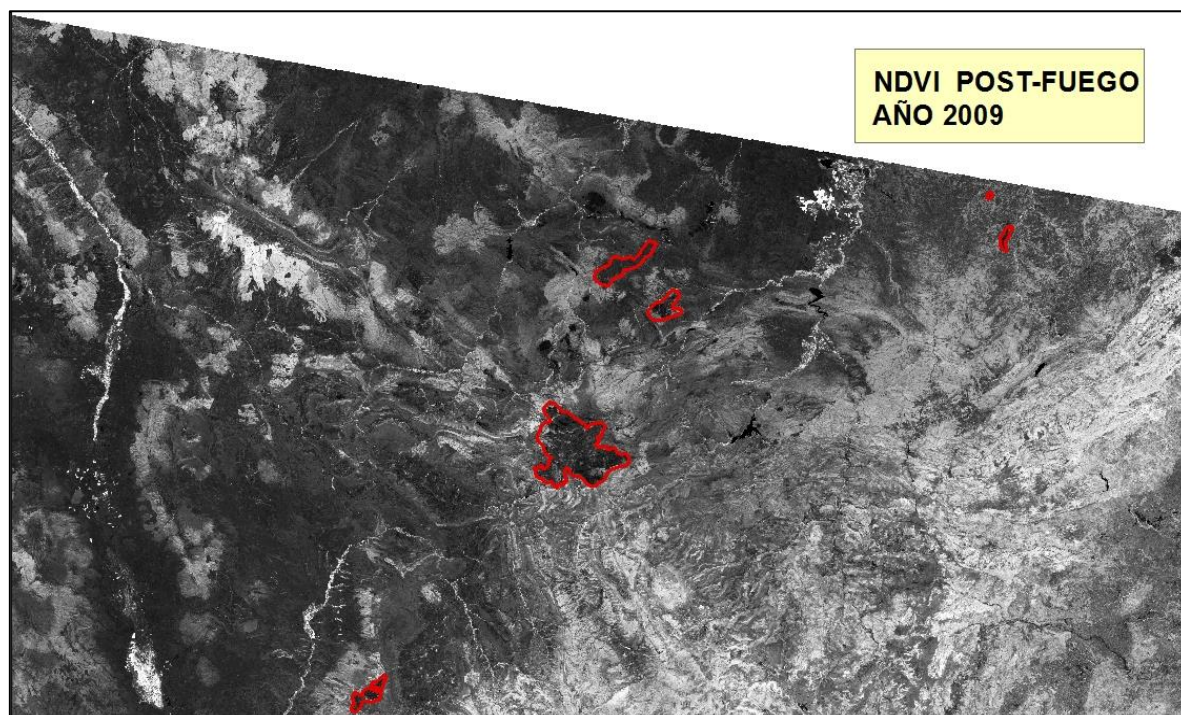


Figura 10: Digitalización NDVI post-fuego de los incendios del 2009
Fuente-USGS Earth Explorer; Elaboración: Propia

4. 3 CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS QUEMADAS: ANALISIS DE SEVERIDAD Y REGENERACIÓN VEGETAL.

Una vez acaba la delimitación de los polígonos de las áreas quemadas, hemos pasado a caracterizar los incendios y a analizar la severidad y la regeneración Vegetal. La severidad la analizaremos con el dNBR y la regeneración vegetal con el NDVI correspondiente al año 2015. Hemos caracterizado los mismos mediante la superficie, las formaciones vegetales que conforman nuestra zona y por medio de los valores NDVI que preexistían antes del incendio y los valores del índice dNBR.

El índice dNBR (*Normalized Burn Ratio*) está integrado por las dos bandas que mejor reflejan los efectos del incendio: El infrarrojo próximo y el infrarrojo medio.

$$NBR = (IFP-IFM) / (IFP+IFM)$$

Dónde:

- **IFP** = Infrarrojo próximo
- **IFM** = infrarrojo medio

Este índice nos muestra las categorías más elevadas de severidad que se han visto afectadas por el fuego. Una vez que hemos operado con esta fórmula, realizaremos una diferencia donde al NBR pre fuego le restaremos el NBR post fuego con el que obtendremos el dNBR:

$$dNBR = NBR_{Pre} - NBR_{Post}$$

Como el infrarrojo próximo es representativo del vigor vegetal y de la estructura foliar y el infrarrojo medio es indicador de la cantidad de agua presente en la vegetación, a mayor vigor vegetal mayor respuesta en la banda 4 y menor respuesta en la banda 7 y viceversa. Ambas bandas están correlacionadas, y por ello podemos resaltar que el dNBR será negativo en aquellas superficies con una actividad fotosintética alta ya que las áreas quemadas son caracterizadas por su escaso vigor vegetal que condiciona de forma negativa la respuesta en la banda 4 y por el contrario será positivo en las zonas que presenten una superficie con una actividad fotosintética inexistente o incluso nula.

A continuación, se ejemplifica un esquema visual de las operaciones realizadas para la obtención del dNBR

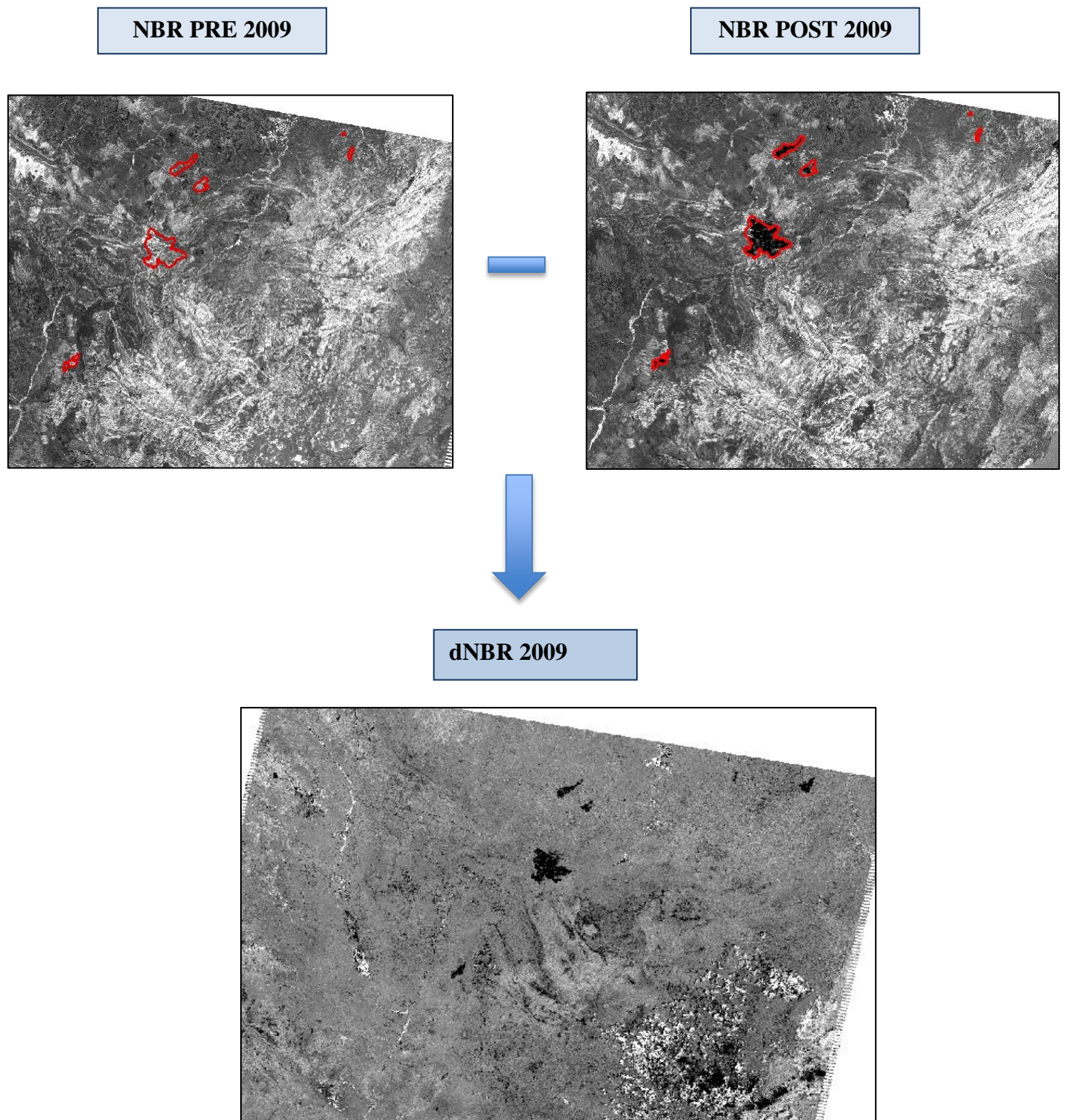


Figura 11: Esquema de la metodología seguida en el presente proyecto para el cálculo del índice dNBR

Fuente-USGS Earth Explorer; Elaboración: Propia

Finalmente, para categorizar nuestros incendios según el grado de severidad que estos presentan, nos basaremos en unos umbrales oficiales que son los que se exhiben en la siguiente tabla (*tabla 4*):

Tabla 4: Niveles de Severidad

| Severity level | dNBR range |
|--------------------------------|-------------------|
| <i>Enhanced regrowth, high</i> | -500 to -251 |
| <i>Enhanced regrowth, low</i> | -250 to -101 |
| <i>Unburned</i> | -100 to +99 |
| <i>Low severity</i> | +100 to +269 |
| <i>Moderate-low severity</i> | +270 to +439 |
| <i>Moderate-high severity</i> | +440 to +659 |
| <i>High severity</i> | +600 to +1300 |

Fuente: FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System, 2006

5. RESULTADOS

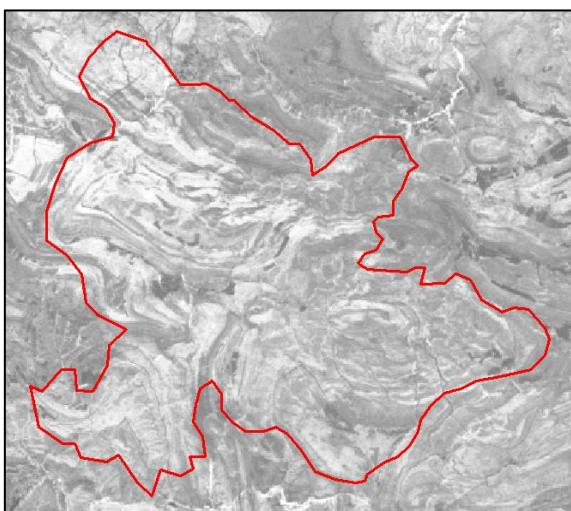
En los resultados del presente trabajo se van a mostrar y comentar todos los gráficos y tablas que han sido elaborados para alcanzar los objetivos propuestos: delimitar y caracterizar los incendios sucedidos en Teruel en el periodo temporal de 2009 y comparar dicha situación con la que se da en el año 2015. Asimismo en este apartado también se mostrarán una serie de mapas para apoyar los resultados dados.

En primer lugar, realizaremos una presentación de cada uno de los incendios de forma individualizada. Elaboraremos una caracterización de los mismos por medio del análisis de la evolución NDVI tomando como comparativa la imagen post-incendio con la imagen de 2015, que es el año propuesto como referencia así como del dNBR para estimar la severidad de cada uno de ellos. En segundo lugar, desarrollaremos un análisis global de todos.

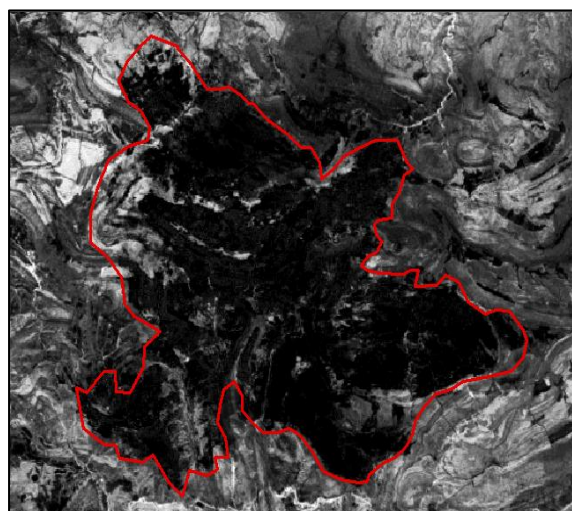
5. 1 Análisis individual de la serie de incendios de 2009

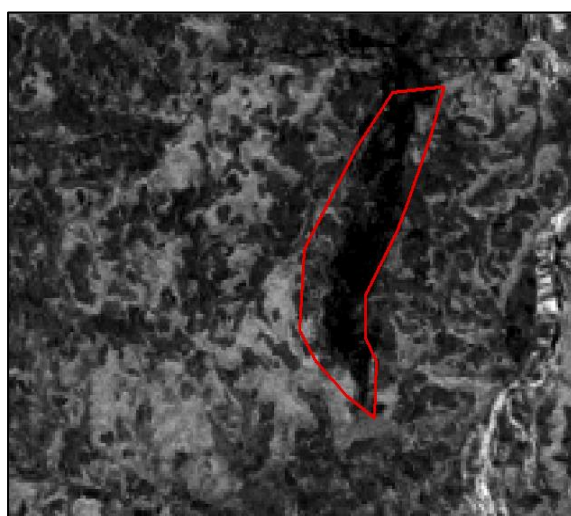
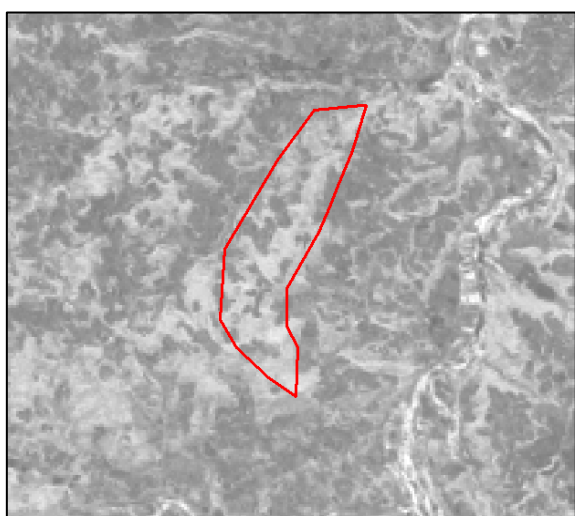
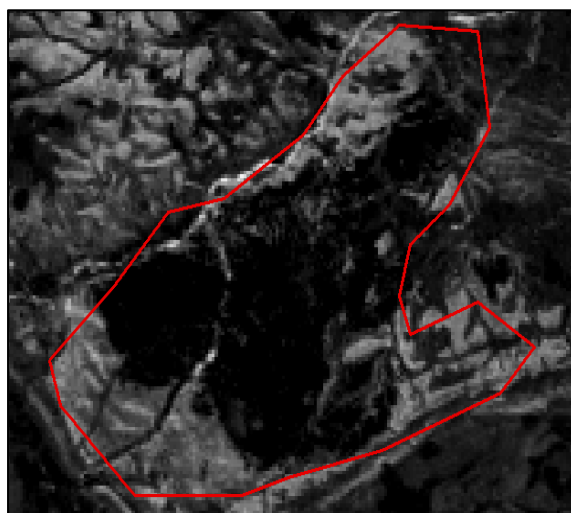
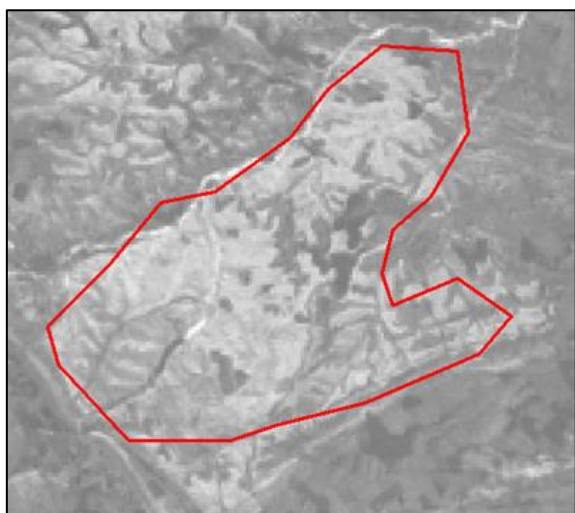
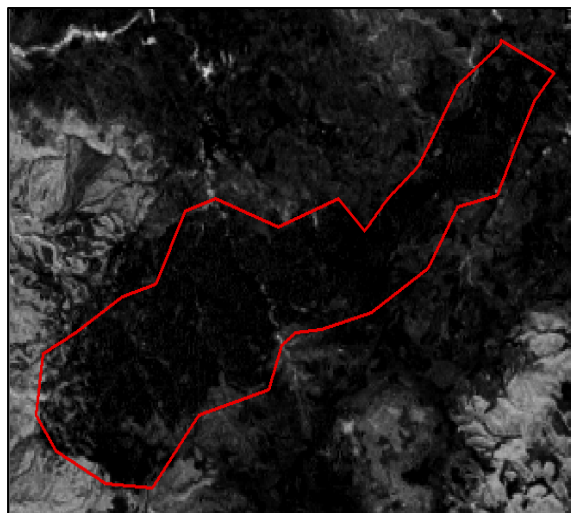
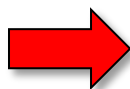
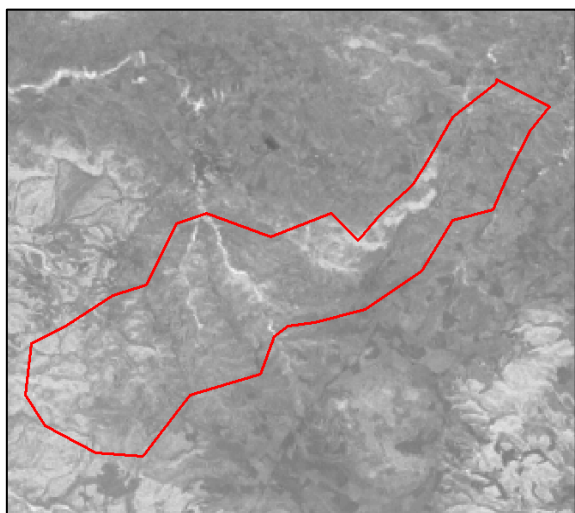
En base a las técnicas aplicadas hemos obtenido un total de seis polígonos tal como se muestra en la figura:

NDVI PRE



NDVI POST





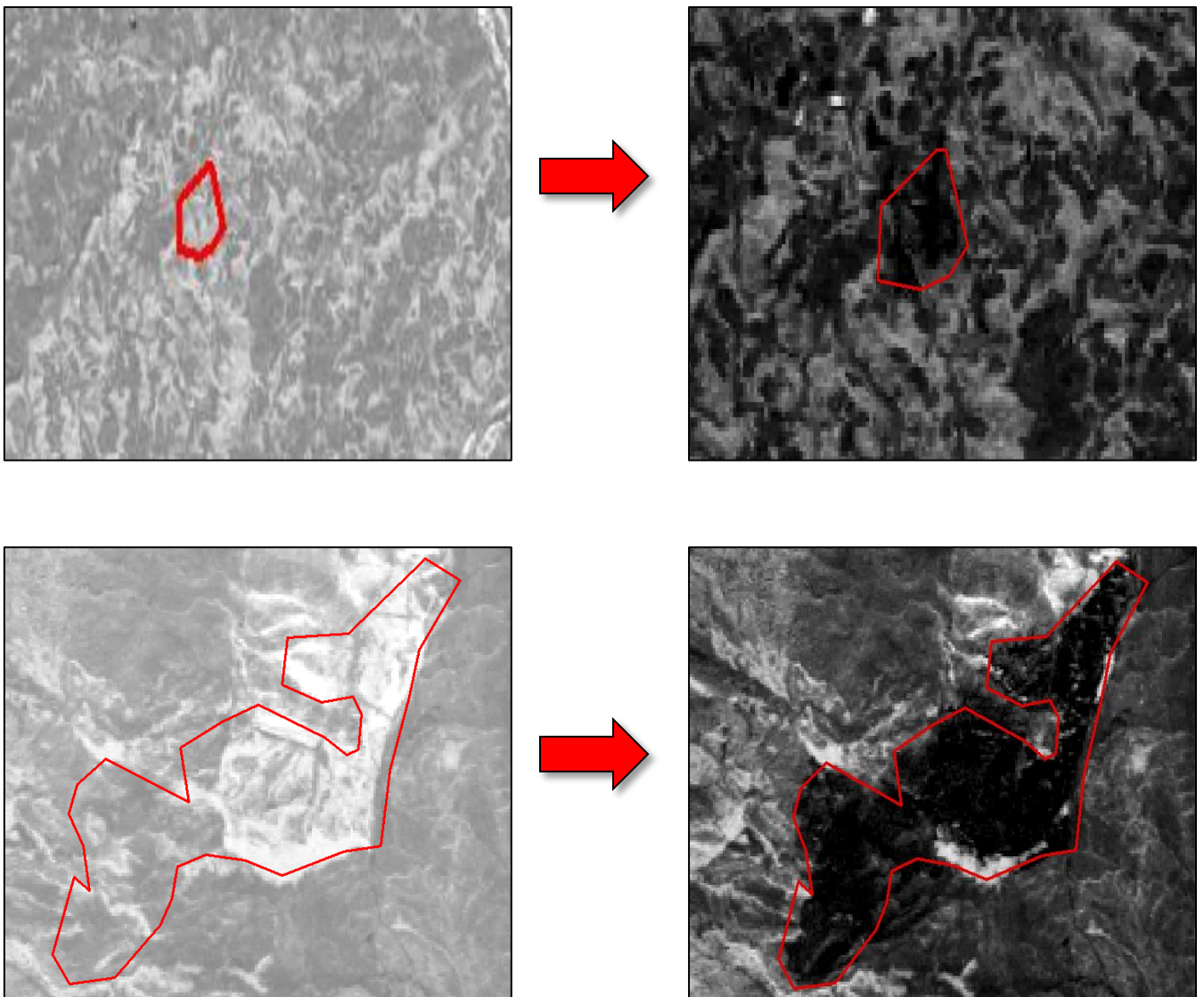


Figura 12: Digitalización de los perímetros de los incendios de Aliaga, Alloza, Los Olmos, Valdetormo, Mazaleón y Corbalán. Los perímetros se muestran sobre la visualización del índice de vegetación NDVI pre (izda.) y post-fuego (dcha.).

Fuente-USGS Earth Explorer. Elaboración propia.

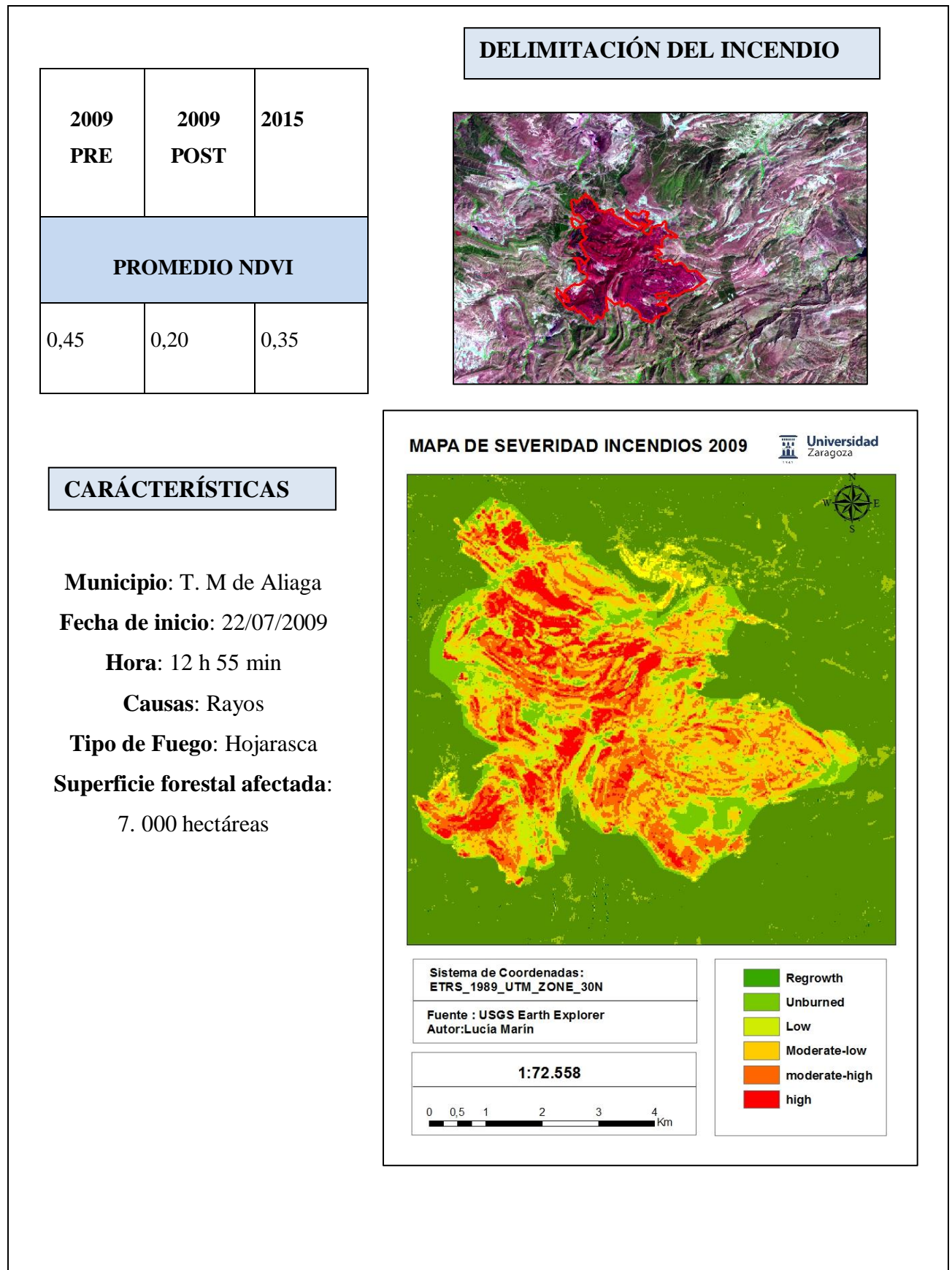
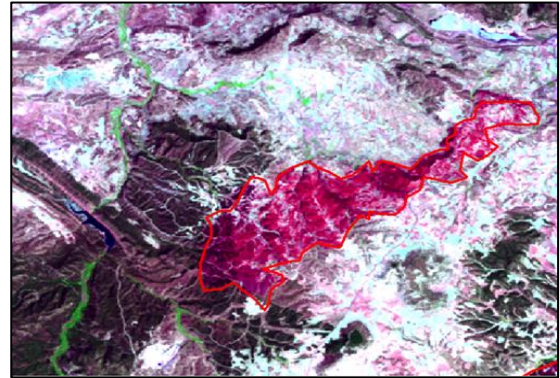
Tabla 5: Ficha descriptiva del Incendio de Aliaga

Tabla 6: Ficha descriptiva del Incendio de Alloza

| 2009 PRE | 2009 POST | 2015 |
|---------------|--------------|------|
| PROMEDIO NDVI | | |
| 0,30 | 0,17 | 0,31 |

DELIMITACIÓN DEL INCENDIO**CARÁCTERÍSTICAS**

Municipio: T. M de Alloza

Fecha de inicio: 22/07/2009

Hora: 13 h 40 min

Causas: Rayos

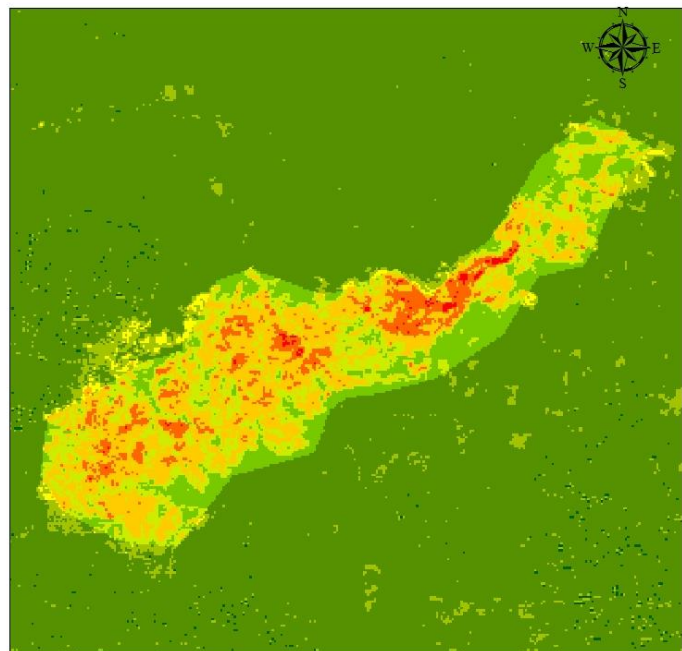
Tipo de Fuego: Pastos

Superficie forestal quemada:

1582,24 hectáreas.

MAPA DE SEVERIDAD ALLOZA 2009

Universidad
Zaragoza



Sistema de Coordenadas:
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N

Fuente : USGS Earth Explorer
Autor: Lucía Marín

1:72.558

0 0,325 0,65 1,3 1,95 2,6 Km

regrowth
unburned
low
moderate-low
moderate-high
high

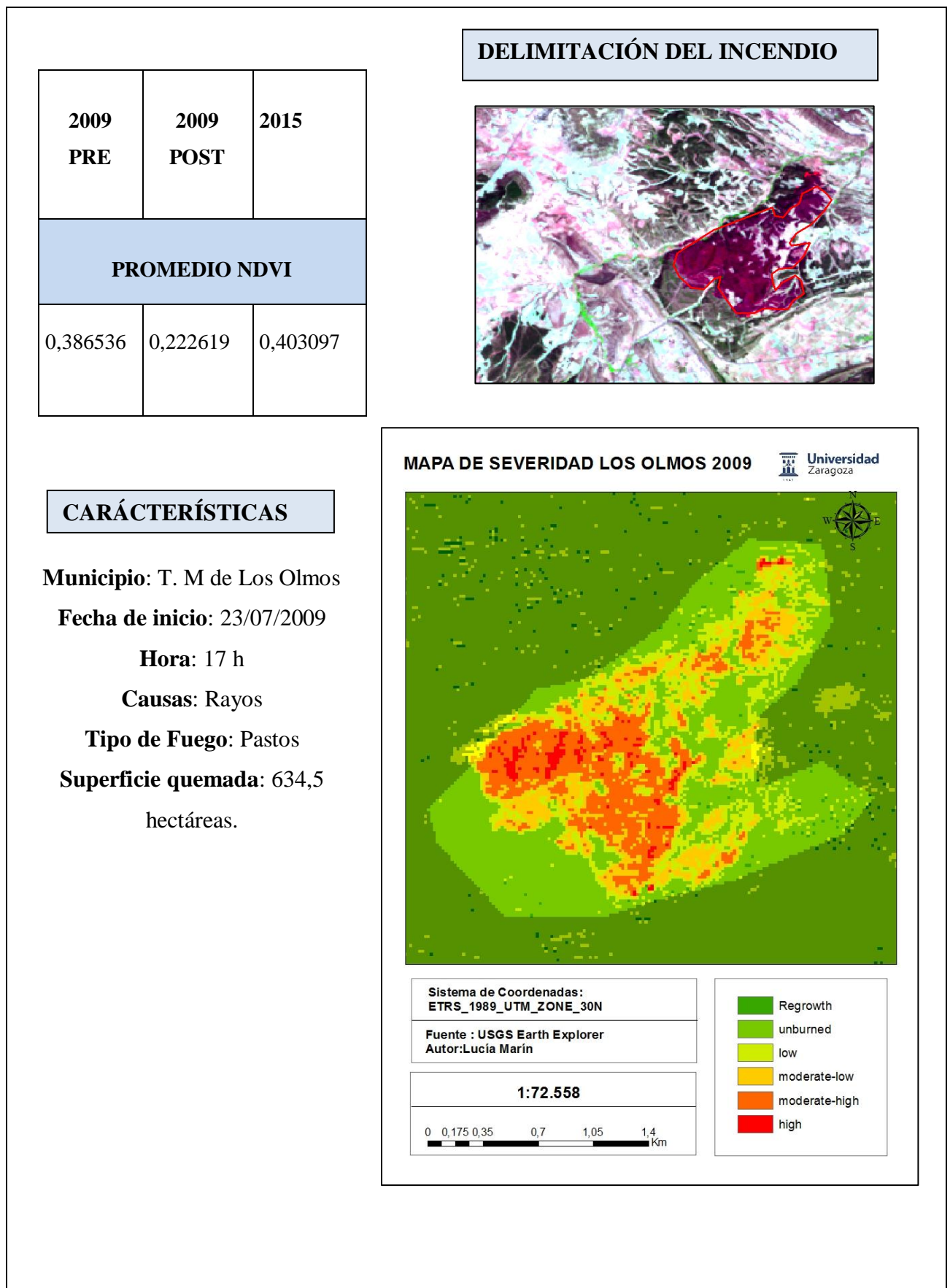
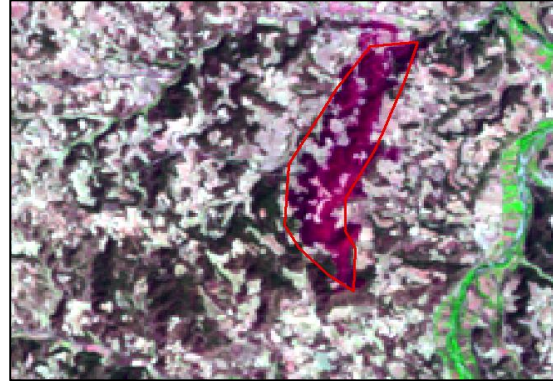
Tabla 7: Ficha descriptiva del Incendio de Los Olmos

Tabla 8: Ficha descriptiva del Incendio de Valdetormo

| 2009 PRE | 2009 POST | 2015 |
|---------------|--------------|------|
| PROMEDIO NDVI | | |
| 0,40 | 0,20 | 0,39 |

DELIMITACIÓN DEL INCENDIO**CARÁCTERÍSTICAS**

Municipio: T. M de Valdetormo

Fecha de inicio: 22/07/2009

Hora: 12 h 25 min

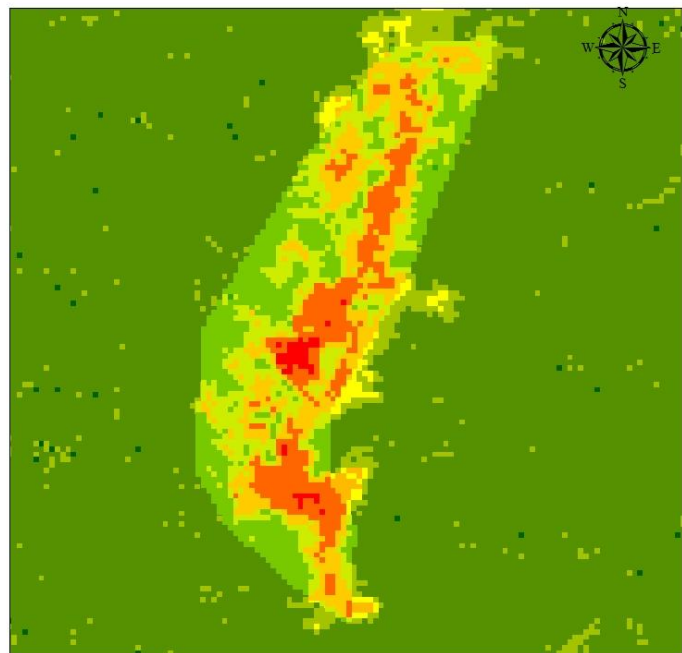
Causas: Rayos

Tipo de Fuego: Hojarasca

Superficie quemada: 2421,9 hectáreas.

MAPA DE SEVERIDAD VALDETORMO 2009

Universidad Zaragoza



Sistema de Coordenadas:
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N

Fuente : USGS Earth Explorer
Autor: Lucía Marín

1:72.558

0 0,125 0,25 0,5 0,75 1 Km

regrowth
unburned
low
moderate-low
moderate-high
high

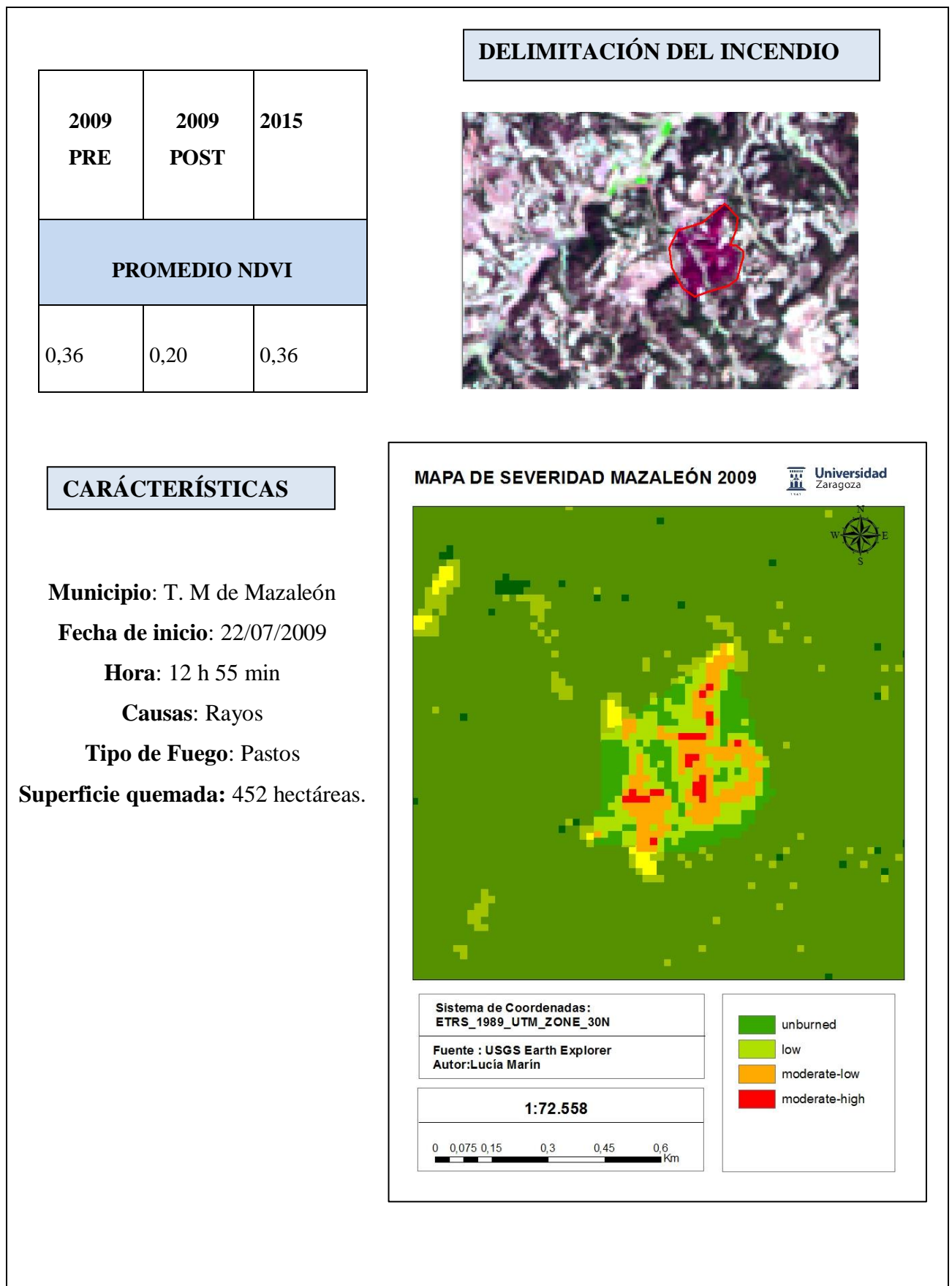
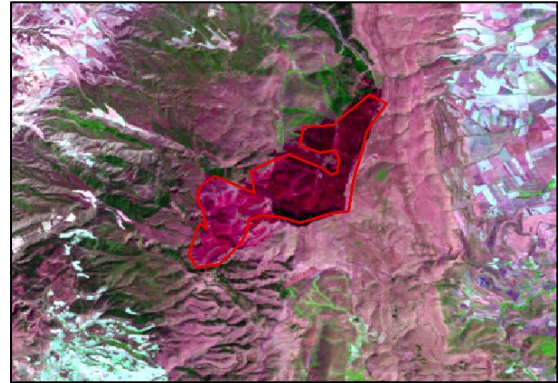
Tabla 9: Ficha descriptiva del Incendio de Mazaleón

Tabla 10: Ficha descriptiva del Incendio de Corbalán

| 2009 PRE | 2009 POST | 2015 |
|---------------|--------------|------|
| PROMEDIO NDVI | | |
| 0,48 | 0,19 | 0,34 |

DELIMITACIÓN DEL INCENDIO**CARÁCTERÍSTICAS**

Municipio: T. M de Corbalán

Fecha de inicio: 22/07/2009

Hora: 17 h 30 min

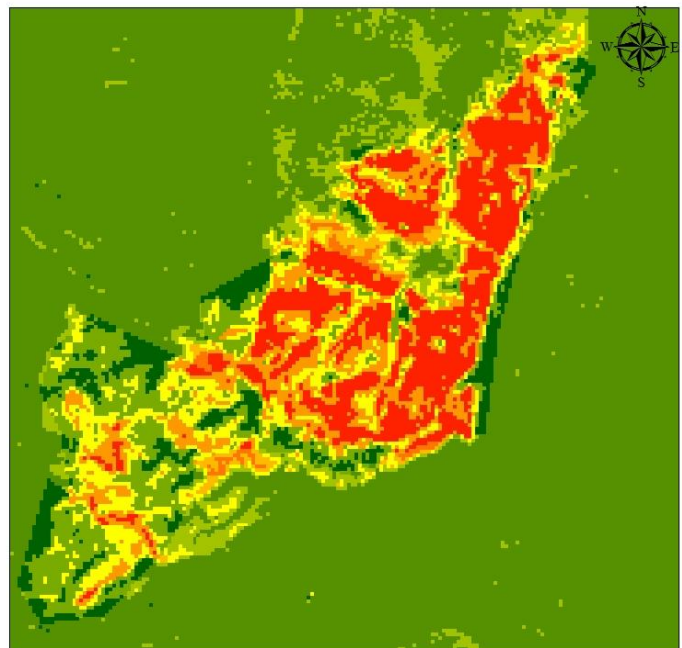
Causas: Rayos

Tipo de Fuego: Hojarasca

Superficie quemada: 7987 hectáreas.

MAPA DE SEVERIDAD CORBALÁN 2009

Universidad
Zaragoza



Sistema de Coordenadas:
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N

Fuente : USGS Earth Explorer
Autor: Lucía Marín

1:72.558

0 0,175 0,35 0,7 1,05 1,4 Km

unburned
low
moderate-low
moderate-high
high

En primer lugar, el *incendio de Aliaga* (tabla 5) fue uno de los incendios forestales más extensos y de mayor índole registrado en España en todo el año 2009. Este se produjo el 22 de julio en el término municipal de Aliaga. El total de superficie quemada ascendía al número de 74689,2 hectáreas. En cuanto a las causas que provocaron el incendio cabe decir, que fueron diferentes factores los protagonistas del suceso pero fue especialmente la caída de diversos rayos la culpable junto a las altas temperaturas, fuertes rachas de viento registradas y la humedad relativa baja los principales culpables del siniestro.

Aliaga partía con un NDVI de 0,45 (tabla 5) representativo de una vegetación vigorosa y con una densidad bastante notable representativo de *Pinares de pino albar, de pino carrasco, de pino salgareño, mezclas de coníferas autóctonas, bosque ribereño, mezclas de coníferas y frondosas autóctonas y encinares*.

En la situación post-fuego se aprecia el paso del incendio debido a que los valores del NDVI han experimentado un descenso a niveles mucho más bajos, llegando a los 0,20. La causa que justifica este fenómeno es atribuible al grado de severidad con el que se desarrolló el siniestro. Así según los valores generales de dNBR, el incendio de Aliaga se define bajo una severidad alta.

En el análisis individual del dNBR donde se representan el número de píxeles que conforman cada polígono por categorías reclasificadas según el nivel de severidad (tabla 11) observamos, como los valores relativos a las categorías de *moderate-low/moderate-high* son altos en comparación con el resto, lo que corrobora una vez más la alta severidad del incendio.

Tabla 11: Valores de dNBR del incendio de Aliaga individualizado por categorías de severidad

| Categoría de severidad | Superficie (%) |
|-------------------------------|-----------------------|
| <i>Regrowth</i> | 0,014 |
| <i>Unburned</i> | 12,23 |
| <i>Low</i> | 19,24 |
| <i>Moderate-low</i> | 32,05 |
| <i>Moderate-high</i> | 25,18 |
| <i>High</i> | 11,28 |

Si comparamos dichos resultados con los obtenidos en el año 2015, vemos como la vegetación ha experimentado un proceso de regeneración ostentando unos valores de 0,35 sin llegar a su situación inicial, consecuencia de que como hemos comentado

anteriormente, la mayoría de la superficie que se vio afectada por el incendio fue quemada bajo una severidad moderada.

En lo que respecta al *incendio de Alloza* (tabla 6), decir que este tuvo lugar el 22 de julio de 2009 a las 13 h 40 min en el término municipal de Alloza. Las causas a las que se remiten son principalmente a los rayos. La superficie forestal quemada ronda en torno a 14783,4 hectáreas.

En la situación pre-incendio Alloza se definía bajo un de NDVI de 0,30 (tabla 6) correspondiente a una superficie forestal formada por *pino carrasco*. Tras el paso del incendio los valores disminuyeron a los 0,17.

El brusco descenso del nivel de su NDVI como respuesta al incendio, da lugar al mínimo valor de la serie de incendios que a partir de ese momento muestra una tendencia global creciente.

En lo que respecta al valor general del dNBR de Alloza, decir que este se posiciona como el tercer siniestro más severo de la serie trágica de 2009 (254). Sin embargo, su análisis categorizado muestra valores que son de interés para su análisis.

Tabla 12: Valores de dNBR del incendio de Alloza individualizado por categorías de severidad

| Categoría de severidad | Superficie (%) |
|-------------------------------|-----------------------|
| <i>Regrowth</i> | 0,01 |
| <i>Unburned</i> | 21,28 |
| <i>Low</i> | 30,26 |
| <i>Moderate-low</i> | 37,39 |
| <i>Moderate-high</i> | 10,31 |
| <i>High</i> | 0,75 |

Existe un reparto relativamente homogéneo en lo que respecta al número de píxeles del incendio de alloza en las diferentes categorías del dNBR. A pesar de que el valor más alto, concierne a la categoría de *moderate-low*, el porcentaje de superficie que muestra una severidad alta es prácticamente inexistente (tabla 12). También destacar que existe un preponderancia de valores de superficie no quemada o apenas afectada, ya que si sumamos los porcentajes de los niveles *unbuerned* (21,28%), y *low* (30,26%) el total resulta ser mayor frente a los otros niveles de severidad: *Moderate-low* (37,39%), *moderate-high* (10,31%) y *high* (0,75%).

Finalmente, si se compara los datos de 2015 con los resultados obtenidos en el año 2009, seis años después de los episodios de fuego, observamos que la vegetación ha regenerado y ha vuelto prácticamente a su situación inicial con un NDVI de 0,315. Si lo

relacionamos con los valores de severidad categorizados, es necesario recalcar la existencia de un porcentaje considerablemente elevado en relación a la categoría *low*, denotando así que la intensidad del incendio no fue tan alta como los demás y que por lo tanto la superficie pudo regenerar de forma natural y retomar su situación previa al incendio.

El **incendio de los Olmos** (tabla 7) comenzó el 23 de julio de 2009 a las 17 h en el término municipal de Los Olmos. Al igual que en caso de Aliaga y Alloza este fue generado a consecuencia de la acción de los rallo. Respecto al tipo de fuego hablamos de pastos. . Encontramos una superficie quemada de 9640,8 hectáreas.

Con anterioridad al desencadenamiento del incendio, Los Olmos se englobaban bajo la referencia de un NDVI de 0,38(tabla 7). Tras el incendio, los valores descendieron a los 0,22. El fuego quemó mayoritariamente superficie arbolada *pinares de pino carrasco y coníferas autóctonas*.

Respecto a los valores del dNBR, en primer lugar decir que en el contexto general, el incendio de los Olmos resulto ser menos agresivo que los demás, definido bajo un valor de 205,14. Este hecho se refleja en el análisis individual de los píxeles (tabla 13) ya que vemos que el valor más alto lo constituye la categoría denominada *unburned* (44,95%) seguida por la *low* (19,15%), lo que nos viene a determinar que nos situamos bajo un incendio que sobresale por su baja severidad.

Tabla 13: Valores de dNBR del incendio de Los Olmos individualizado por categorías de severidad

| Categoría de severidad | Superficie (%) |
|------------------------|----------------|
| <i>Regrowth</i> | 0,55 |
| <i>Unburned</i> | 44,95 |
| <i>Low</i> | 19,15 |
| <i>Moderate-low</i> | 15,93 |
| <i>Moderate-high</i> | 17,53 |
| <i>High</i> | 1,90 |

Además de forma complementaria, si analizamos los resultados obtenidos del último año 2015, se observa claramente como la vegetación se ha recuperado y ha regenerado, incluso destacar que los valores NDVI son levemente más altos (0,40) que los que podíamos encontrar en la situación pre fuego. La justificación se traduce nuevamente en los valores del índice dNBR, donde vemos que el porcentaje de píxeles que experimento una severidad moderada-alta es relativamente pequeño.

El **incendio de Valdetormo** (tabla 8) se desencadenó el 22 de julio de 2009 a las 12 y 25 h en el término municipal de Valdetormo. Las causas que de nuevo justifican este foco

de fuego fueron los rayos. En cuanto a la superficie que se vio afectada, los valores rondan las 2421,9 hectáreas.

Los NDVI pre-fuego son representativos de una vegetación densa (0,40) de *pino carrasco* y *bosques ribereños*. Por el contrario en la situación posterior al fuego vemos como la vegetación se ha visto afectada con un descenso del NDVI importante (tabla 8). Hemos pasado de una vegetación que se definía por tener una cierta densidad a otra con cierta vegetación como es el matorral de suelo.

En el análisis de su severidad, Valdetormo se caracteriza bajo un dNBR moderado-bajo (251,62), ostentando así, el cuarto puesto de la serie de incendios de nuestro estudio.

Tabla 14: Valores de dNBR del incendio de Valdetormo individualizado por categorías de severidad

| <i>Categoría de severidad</i> | <i>Superficie (%)</i> |
|-------------------------------|-----------------------|
| <i>Regrowth</i> | 0,07 |
| <i>Unburned</i> | 28,73 |
| <i>Low</i> | 27,83 |
| <i>Moderate-low</i> | 23,63 |
| <i>Moderate-high</i> | 18,02 |
| <i>High</i> | 1,71 |

En el análisis individual de sus píxeles (tabla 14) vemos representado dicha realidad. El mayor número de superficie que se quemó se le otorga a la categoría de *low* (27,73%) seguida por la *moderate-low* (23,63) y la *moderate-high* (18,02%) y en último lugar la *high* (1,71%). Este valor último nos va a determinar que la regeneración que desarrollara la superficie tras el incendio será notable y es que si comparamos el valor del NDVI post-fuego con el del año 2015, los resultados demuestran que la vegetación llegó a alcanzar valores próximos al NDVI natural aunque se encuentra por debajo del valor que inicialmente se presentaba en 2009.

El quinto incendio de la serie trágica de siniestros que se originaron en Teruel en el periodo temporal de 2009 lo conforma el incendio de **Mazaleón** (tabla 9). Este incendio se produjo el 22 de julio de 2009 a las 17 y 30 h en el término municipal de Mazaleón. La fuente de ignición a la que se le atribuye la causa es una vez más la caída de un rayo. La superficie que se vio afectada asciende al número de 452,7 hectáreas.

De nuevo, en la situación pre-fuego encontramos unos valores de NDVI en torno a los 0,37 (tabla 9) englobando una vegetación formada por pinares de *pino carrasco* y *bosques ribereños* principalmente. A raíz del incendio apreciamos con claridad la caída en el nivel de NDVI (0,20).

Mazaleón representa el incendio menos severo del conjunto de siniestros con un valor de dNBR de 199,75 y por lo tanto se corresponde con la categoría de severidad *low*, lo que guarda su reflejo en el análisis individualizado (*tabla 15*) donde destaca un 34,39% de la superficie porcentaje que se quemó bajo una severidad baja, un 29,22 % bajo una severidad *moderada-low* y un 5,17% de severidad moderada-alta. Ninguno de los píxeles del incendio se vio afectado por una severidad alta lo que nos apoya lo comentado con anterioridad.

Tabla 15: Valores de dNBR del incendio de Mazaleón individualizado por categorías de severidad

| <i>Categoría de severidad</i> | <i>Superficie (%)</i> |
|-------------------------------|-----------------------|
| <i>Regrowth</i> | 0 |
| <i>Unburned</i> | 31,21 |
| <i>Low</i> | 34,39 |
| <i>Moderate-low</i> | 29,22 |
| <i>Moderate-high</i> | 5,17 |
| <i>High</i> | 0 |

Si se analiza los datos del año 2015 con los resultados, teniendo presente los niveles de referencia del año 2009, vemos que la vegetación ha regenerado, ya que esta ha vuelto prácticamente a su situación inicial con un NDVI de 0,368.

Por último, en lo que respecta al ***incendio de Corbalán*** (*tabla 10*) este sucedió el 22 de julio de 2009 a las 14: 25 h en el término municipal de Corbalán. Las causas por las que se ocasiono fueron los rayos. La superficie quemada resulta ser menos extensa que las anteriores vistas, situada en os 5,74 he. Encontramos una superficie quemada de 7985 hectáreas.

Corbalán destaca con respecto al resto por ser el que mayor NDVI tenía con un valor de 0,483(*tabla 10*) representativo de una cobertura vegetal conformada por *pinares de pino albar, mezclas de coníferas y frondosas autóctonas, pinares de pino salgareño, mezclas de coníferas autóctonas encinares sabinas albares* entre otras.

Tras el siniestro se denota un importante descenso del nivel NDVI (0,19). Supone junto al incendio de Alloza los incendios más peligrosos en cuanto a vegetación quemada y grado de severidad se refieren. En relación con su severidad, Corbalán se posiciona con los valores más altos de dNBR de todo el conjunto. En la tabla (*tabla 15*) observamos como el mayor porcentaje de superficie que se quemó fue bajo una severidad *high* (27,75%) y *moderate-high* (21,24%). Estos resultados justifican que este incendio fuera el más agresivo y por tanto el que más efectos generara en la cubierta vegetal.

Tabla 16: Valores de dNBR del incendio de Mazaleón individualizado por categorías de severidad

| <i>Categoría de severidad</i> | <i>Superficie (%)</i> |
|-------------------------------|-----------------------|
| <i>Regrowth</i> | 0 |
| <i>Unburned</i> | 11,53 |
| <i>Low</i> | 20,94 |
| <i>Moderate-low</i> | 18,54 |
| <i>Moderate-high</i> | 21,24 |
| <i>High</i> | 27,75 |

Partiendo con un valor NDVI de 0,48 en el año 2009, tras seis años después del fuego, en 2015, este alcanza un valor de 0,34 lo que supone una pérdida no recuperada. Nuevamente este hecho se atiene a que en el reparto individualizado de la superficie quemada prácticamente tres cuartas partes del total quemada fueron afectadas por una severidad elevada tal como refleja la tabla adjunta (*tabla 16*).

5. 2 Análisis global de la serie de incendios de 2009

En primer lugar, en el análisis global de los valores NDVI obtenidos para cada uno de los incendios (*gráfico 4*) percibimos el paso gradual del incendio reflejado en la diferencia sustancial entre los valores de vegetación que preexistían con anterioridad al incendio con los resultantes tras el paso de este.

Existe un rango de valores y por tanto de interpretaciones, que nos ayudan a conocer el tipo de cubierta vegetal ante la que nos encontramos. La definición de estos valores, se recogen en la siguiente tabla (*tabla 17*). En base a ello, podemos decir que todos nuestros polígonos partían con un NDVI predeterminado comprendido entre los valores 0. 30-0,45, representativo de una vegetación vigorosa, a caballo entre poca vigorosa y con cierta densidad, entre los que destaca Aliaga y Corbalán como las localidades con mayor densidad de vegetación presente.

Tabla 17: Niveles de NDVI

| Valor NDVI | Definición |
|----------------------|-------------------------------------|
| NDVI<0 | Ausencia de vegetación |
| 0-0,2 | Suelo desnudo o vegetación muerta |
| 0,2-0,4 | Vegetación dispersa o poco vigorosa |
| 0,4-0,6 | Vegetación abundante y vigorosa |
| NDVI > 0,6 | Vegetación muy densa y vigorosa |

Fuente: Chuvieco(1995)

En la situación post-fuego, apreciamos como estos valores han disminuido tras el siniestro llegando a marcar valores que rondan los 0,18-0,20 reflejando así que el grado de afectación a la superficie forestal presente fue considerable. Si comparamos los datos medios vemos como estos son prácticamente iguales con algún que otro mínimo que despunta sobre los demás. En la gráfica (*gráfico 4*) se aprecia como en los días posteriores al incendio los valores del NDVI del incendio de Alloza eran los más bajos de toda la serie exhibiendo un valor de 0,17.

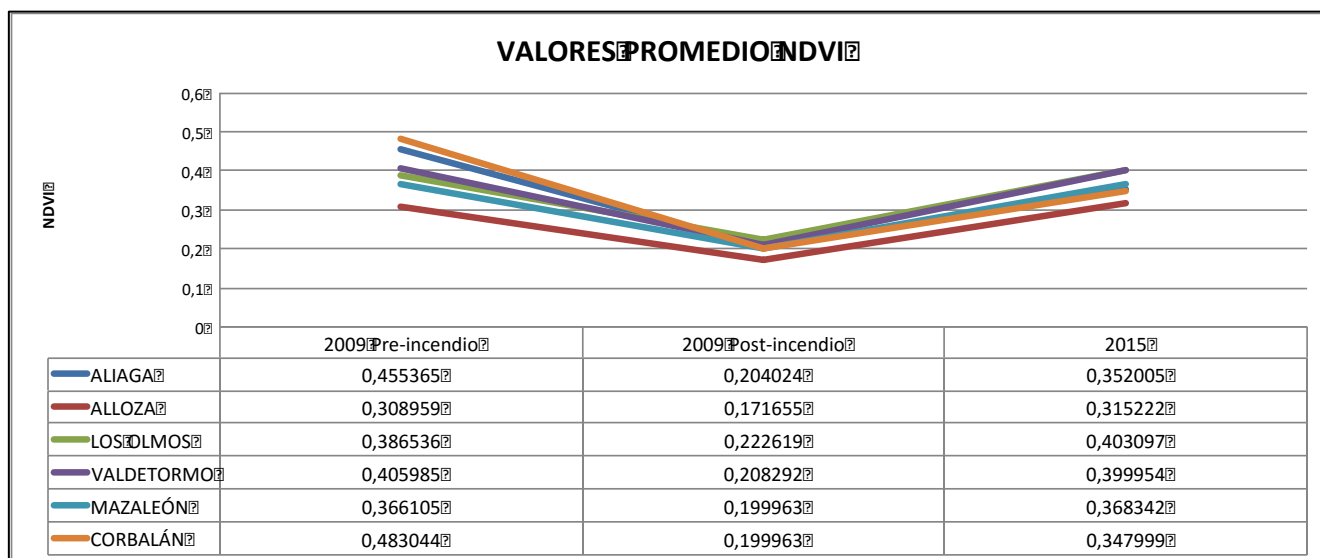


Gráfico 4: Evolución temporal del índice de vegetación NDVI de Aliaga, Alloza, Los Olmos, Valdetormo, Mazaleón y Corbalán pre-post incendio 2009 y 2015.

Fuente: USGSS. Elaboración propia.

En lo que respecta al año 2015, volvemos a encontrarnos ante valores de NDVI entre los 0,30-0,40 (tabla 18) lo que implica que se ha ocasionado un proceso de regeneración de la vegetación. Como se puede observar en la gráfica adjunta (*gráfico 4*) podemos considerar como en el caso tanto del incendio de Los Olmos y el de Alloza, los NDVI del 2015 superan ligeramente los NDVI de la situación pre-fuego. Sin embargo llama la atención en el caso de Alloza y Los Olmos, donde el NDVI que existía en 2015 fueran más altos que los que existían con anterioridad al incendio lo que implica que la superficie se ha adaptado de forma notable.

El análisis de la regeneración de la vegetación tras el incendio mediante el NDVI no asegura en cierta medida que después del incendio la vegetación generada sea la misma que la que existía previamente al incendio. Es decir, lo que nos ayuda es a comprender y conocer el nivel de vigorosidad de la vegetación.

A continuación (*tabla 18*) se muestra el NDVI pre y post representativo de cada uno de los polígonos digitalizados, donde se ejemplifica las diferencias notables entre una escena y otra y donde queda patente los efectos del fuego:

Tabla 18: Datos NDVI promedio pre y post 2009 y 2015 de la serie de incendios (Aliaga,Alloza,Los Olmos, Valdetormo,Mazaleón y Corbalán)

| NDVI PROMEDIO | PRE- INCENDIO 2009 | POST- INCENDIO 2009 | 2015 |
|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------|
| ALIAGA | 0,45 | 0,20 | 0,35 |
| ALLOZA | 0,30 | 0,17 | 0,31 |
| LOS OLMOS | 0,38 | 0,22 | 0,40 |
| VALDETORMO | 0,40 | 0,20 | 0,39 |
| MAZALEÓN | 0,36 | 0,20 | 0,36 |
| CORBALÁN | 0,48 | 0,19 | 0,34 |

Fuente: UGSS

Una vez analizado el perfil del NDVI de la serie de incendios, nuestro interés se centrará en valorar el grado de intensidad con la que originó cada uno de los incendio para valorar así la recuperación del nivel del NDVI y por tanto establecer posibles relaciones entre ambos índices espectrales.

Como ya sabemos la severidad se conoce como la *cuantificación de los efectos del fuego a corto plazo en la situación post-fuego inmediata suceso* (Veraverbeke, 2001). Para conocer el valor de la misma, escogeremos el dNBR como el más adecuado y aceptado para evaluar la gravedad que ha supuesto el fuego sobre la superficie incendiada.

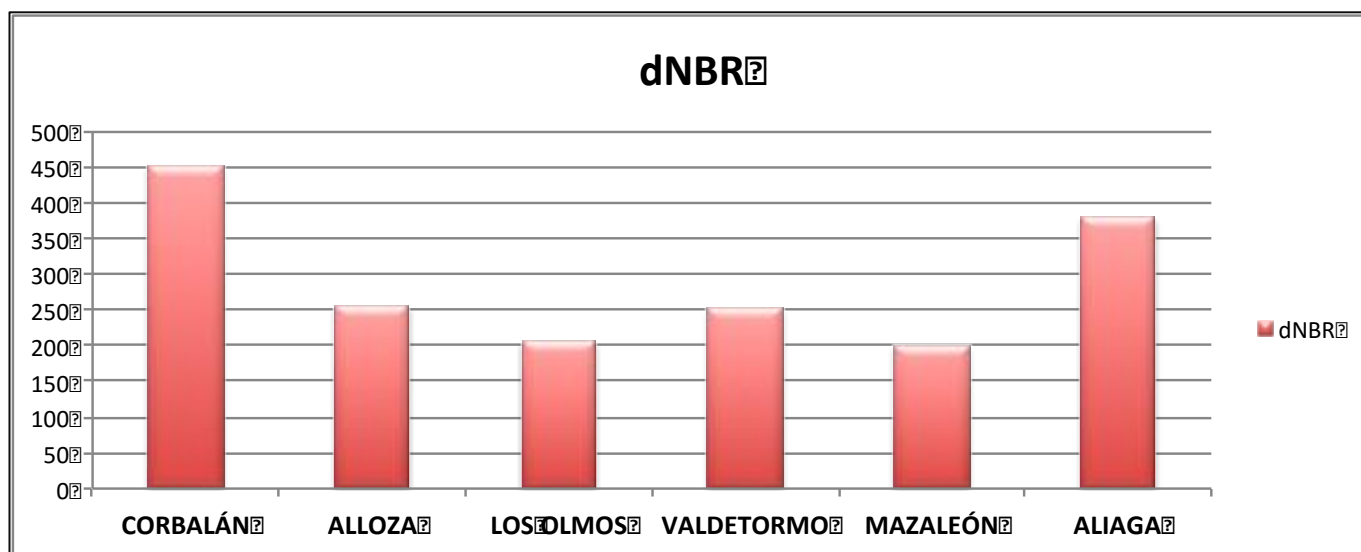


Grafico 5: Valores promedio dNBR pre y post fuego 2009 y 2015

Fuente: USGS; Elaboración: Propia

Como se ha podido apreciar según los resultados que hemos obtenido para el cálculo de la superficie total quemada mediante el índice dNBR, resultan bastante significativo los datos sacados:

En términos generales, la serie de incendios de 2009 que tuvieron lugar en Teruel, muestran unos valores de severidad bastante agudos, los cuales varían desde los 200 hasta los 450 (Gráfico 5). Según la clasificación de *Firemon*, nos encontramos frente a unos incendios que se corresponden a la categoría de severidad moderada-baja a excepción del caso de Corbalán, que sobresale de este rango, con un valor de 450 entrando a formar parte de la siguiente categoría: *Severidad alta-moderada*.

Llama la atención la distribución homogénea que marca este índice en cuanto a la dureza que supusieron cada uno de estos incendios especialmente en los casos de Alloza, Los Olmos, Valdetormo y Mazaleón donde su valores son prácticamente semejantes.

Si relacionamos estos datos, con los obtenidos con el cálculo del NDVI, los incendios de Aliaga y de Corbalán se manifestaron como los más severos en cuanto al índice de dNBR se refieren siendo el incendio de Corbalán el que ostenta el primer puesto en la serie. En el caso tanto de Corbalán como de Aliaga, la correspondencia de estos dos índices es clara, debido a que los valores más altos de dNBR indican la severidad más acusada y por lo tanto el mayor descenso del NDVI tras el incendio, y es que si recordamos, en el apartado anterior del análisis NDVI, Corbalán ostentaba uno de los valores NDVI más bajos de toda la serie (0,19), hecho indicativo de que su superficie

forestal había sufrido un proceso de afectación bastante notable en relación con el resto de siniestros.

Ahora bien, si lo relacionamos con sus valores de severidad observamos que son los más altos, liderando la serie con un valor de 450. Refiriéndonos al mapa expuesto (*figura 13*) observamos como la situación inicial de la vegetación no es la misma que la del año 2015 dando muestra así de los efectos generados por los focos de ignición.

Una de las razones a las que se supedita este suceso se encuentra en el tipo de material de combustión. En el caso de Aliaga, partía en la situación pre-incendio con valores de 0,45, tras el paso de este bajo a 0,20 y en 2015 volvió a tener 0,35. Ambos siniestros destacan por ser los únicos en los que la vegetación no llegó a regenerar en su totalidad dejando así muestra de la gravedad y dureza que supuso el fuego en ellas.

Tanto Aliaga como Corbalán están formados por una cubierta vegetal mucho más densa y poblada en comparación con el resto de siniestros que presentaban una vegetación muy poco vigorosa. La vegetación posee importantes efectos sobre el fuego y es que influye en el mismo, a través de la inflamabilidad y los combustibles vegetales. En el caso de Aliaga vemos de nuevo que se da esa correlación entre sus valores NDVI y NBR, ya que Aliaga presenta un índice dNBR elevado el cual ve su reflejo en el NDVI post incendio.

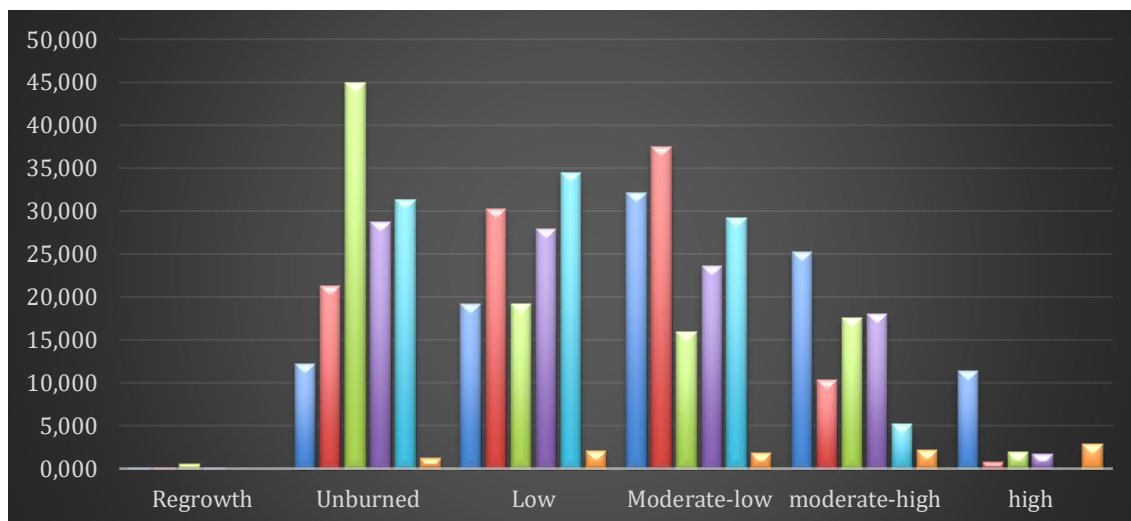


Gráfico 6: Valores dNBR individualizados por categorías de severidad(Regrowth,Unburned,Low,Moderate-low,Moderate-high,high)para cada uno de los seis incendios.

Fuente: USGS; Elaboración: Propia

De forma complementaria, destacar como en el análisis individualizado de los valores del índice dNRB (*gráfico 6*) observamos como los incendios que han experimentado

una severidad más alta han sido principalmente Aliaga y Corbalán, resultado que coincide con el que mostraba en análisis general.

En última instancia, convendría también resaltar los valores NDVI del año 2015 de estos dos incendios que resultan ser los más bajos de toda la serie demostrando así que la afección del incendio fue tan alta, que no permitió a la vegetación recuperarse y en el momento actual se define como suelo desnudo junto a matorrales que muestran una distribución dispersa.

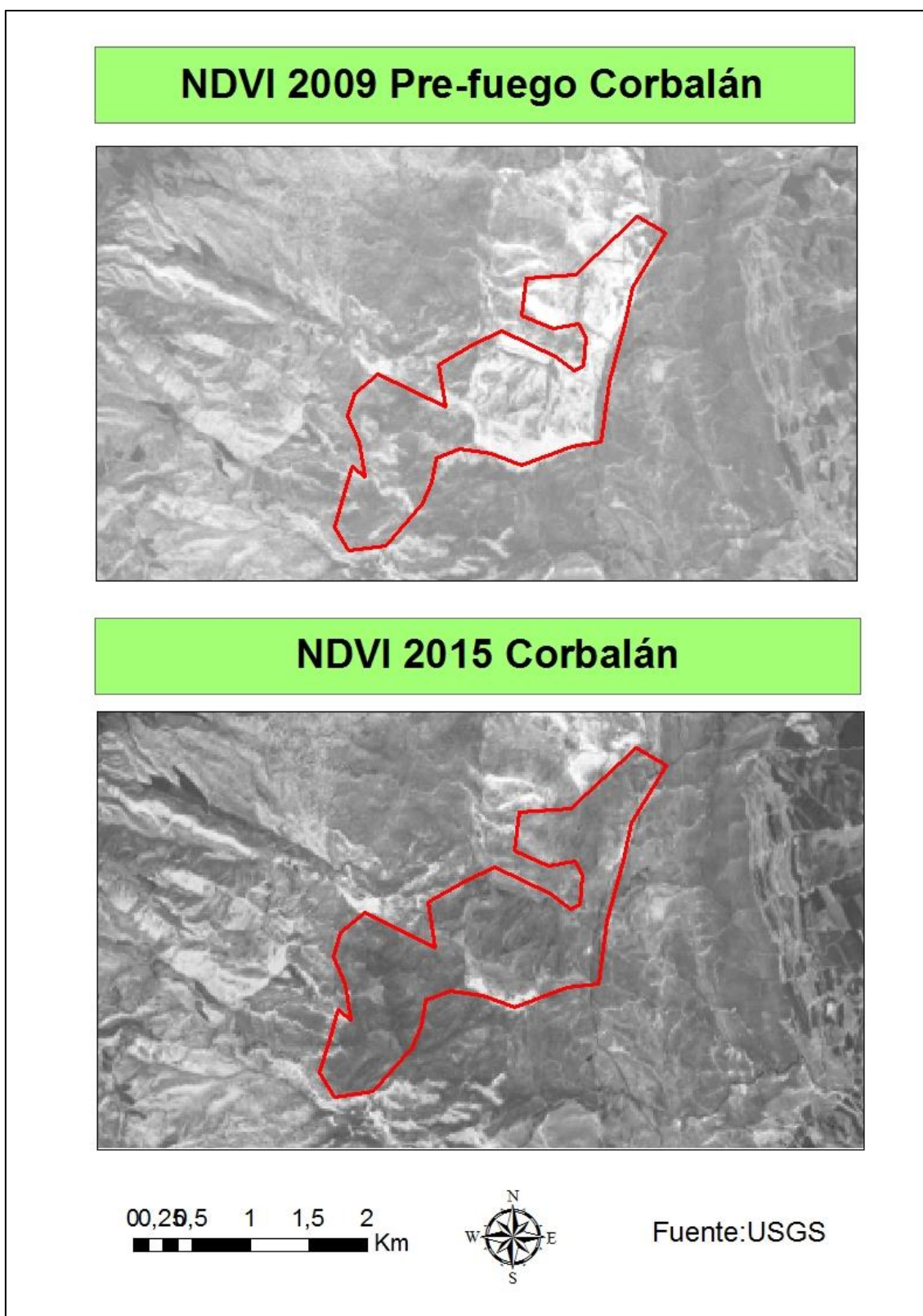


Figura 13: Evolución temporal del NDVI pre-fuego a 2015 Corbalán
Fuente: USGS; Elaboración propia

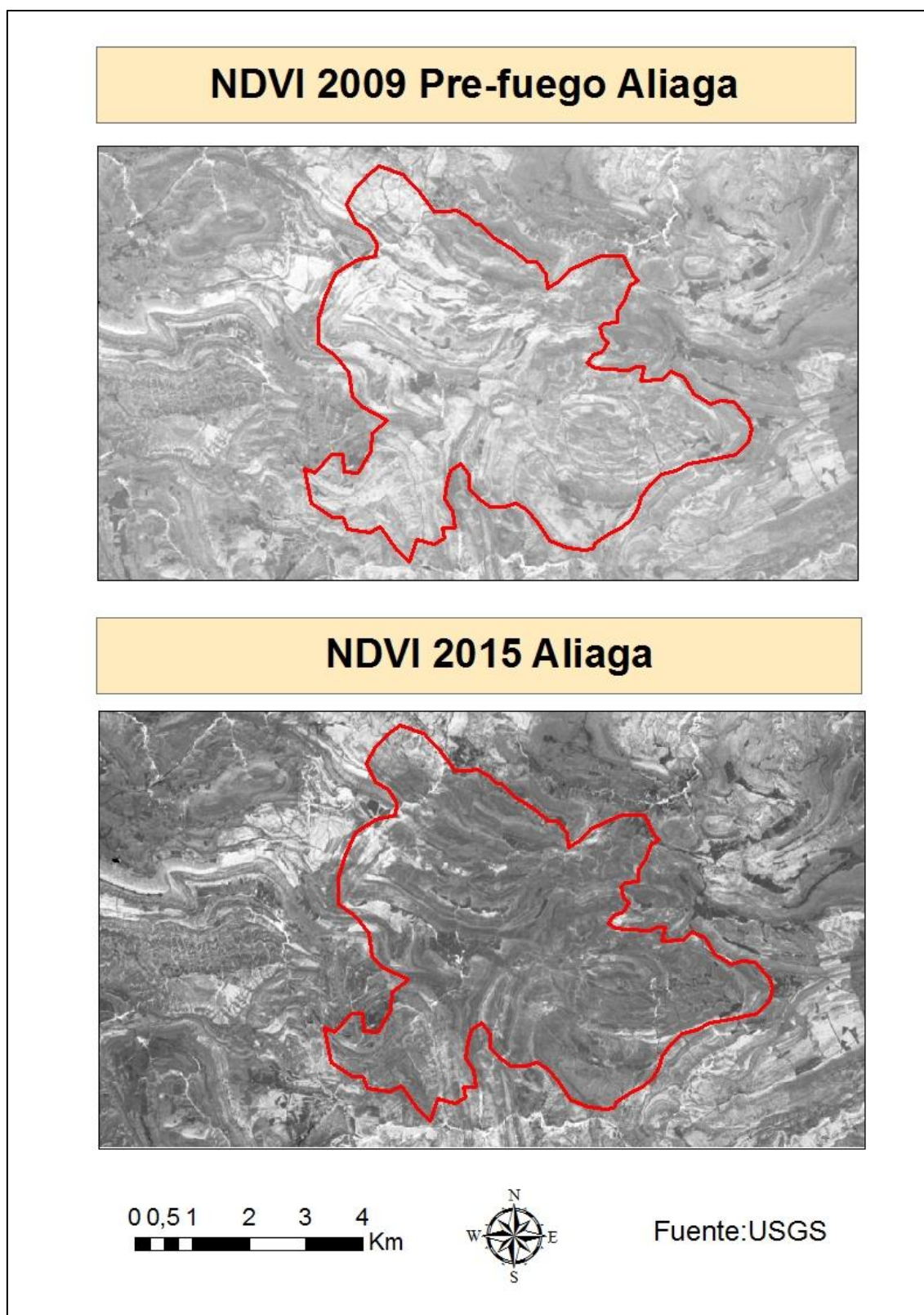


Figura 14: Evolución temporal del NDVI pre-fuego a 2015 Aliaga
Fuente: USGS;Elaboración propia

5. Conclusiones

Una vez más, queda patente la importancia implícita de la teledetección como la mejor herramienta en el análisis de las superficies y discriminación de las áreas afectadas en el contexto de los incendios forestales. En lo referido a los índices espectrales NDVI y dNBR podemos concluir que ambos han resultado correctos para el cumplimiento de los objetivos previstos, ya que nos han permitido delimitar los perímetros quemados y analizar la severidad y su proceso de recuperación.

Nuestra área de estudio en la situación previa al incendio se definía a partir de una vegetación densa con unos valores de NDVI que rondaban los 0.30-0.40, la mayoría de ella conformada por distintas especies de pinos, que tras los incendios pasaron a registrar valores de NDVI propios de áreas de suelo desnudo (0.2).

Analizando los datos obtenidos con el índice dNBR se observa que existe una relación con el índice NDVI, ya que los valores más altos de severidad son los que presentan el NDVI más bajo en el momento temporal inmediatamente después del fuego. Este hecho lo podemos ver ejemplificado en el caso de Aliaga y Corbalán. Además, en el estudio del NDVI del año 2015 se observa como precisamente estos incendios de mayor severidad son los que registran un valor de NDVI más bajo, indicativo de su menor regeneración vegetal.

Desde un punto de vista general, esta serie de incendios estudiados han sido clasificados con una severidad global moderada, aunque con importantes porcentajes de superficie afectada por alta severidad. En comparativa con el año 2015, la mayoría de la vegetación se definió como capaz de regenerar y de alcanzar los niveles de vigor vegetal que tenían previos al incendio.

En resumen, podemos decir que esta serie de incendios supusieron un gran impacto para la superficie forestal de Teruel aunque, a juzgar por los valores del índice de vegetación a fecha de 2015, se observan claros signos de recuperación, variables en función de la severidad de los diferentes incendios.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1 Fuentes bibliográficas

Chuvieco, E. (2009), “Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección”. *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat*(1), pp 173- 181.

PEÑA, J. L., CUADRAT, J. M., SÁNCHEZ, M. (2002), “El clima de la provincia de Teruel. Instituto de Estudios Turolenses”. *Cartillas Turolenses*, pp 49-57.

Gilabert, M. A., González-piqueras, J. y García-haro, J. (1997), “Acerca de los índices de vegetación”. *Revista de Teledetección* (8), pp 35-46.

Chuvieco, E., Martín, M. P (2004), “Nuevas Tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales” *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, pp 190.

Martínez, J., Chuvieco, E (2003), “Tipologías de incidencia y causalidad de incendios forestales basadas en el análisis multivariante”. *Ecología* (17), pp 47-63.

Chuvieco, E. (1996): “Fundamentos de teledetección espacial”. *Rialp, Madrid*, pp 568

García Martín, A. (2011): “Tratamiento digital de las imágenes de satélite: realces, corrección radiométrica, extracción de parámetros físicos y transformaciones aplicadas a la imagen.” *Material docente del Máster Universitario Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: sistemas de información geográfica y teledetección. Universidad de Zaragoza*.

Gilabert, M.A., González-piqueras, J. y García-haro, J. (1997). “Acerca de los índices de vegetación”. *Revista de Teledetección* 8: 35-46.

6.2 Páginas Web y noticias de prensa

Alloza, J. A. (2011). “Grandes incendios forestales en Teruel: ¿Del desierto demográfico al Desierto Ambiental?”. Available: https://nuestrosmontesnosedolvidan.files.wordpress.com/2011/07/incendios_teruel.pdf [Accesed: 10-4-2016]

Aragon. es(2016). Incendios Forestales-medio Forestal-Desarrollo Rural y Sostenibilidad-Departamentos y Organismos Públicos-Gobierno de Aragón. [online] Available:<http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/DesarrolloRuralSostenibi>

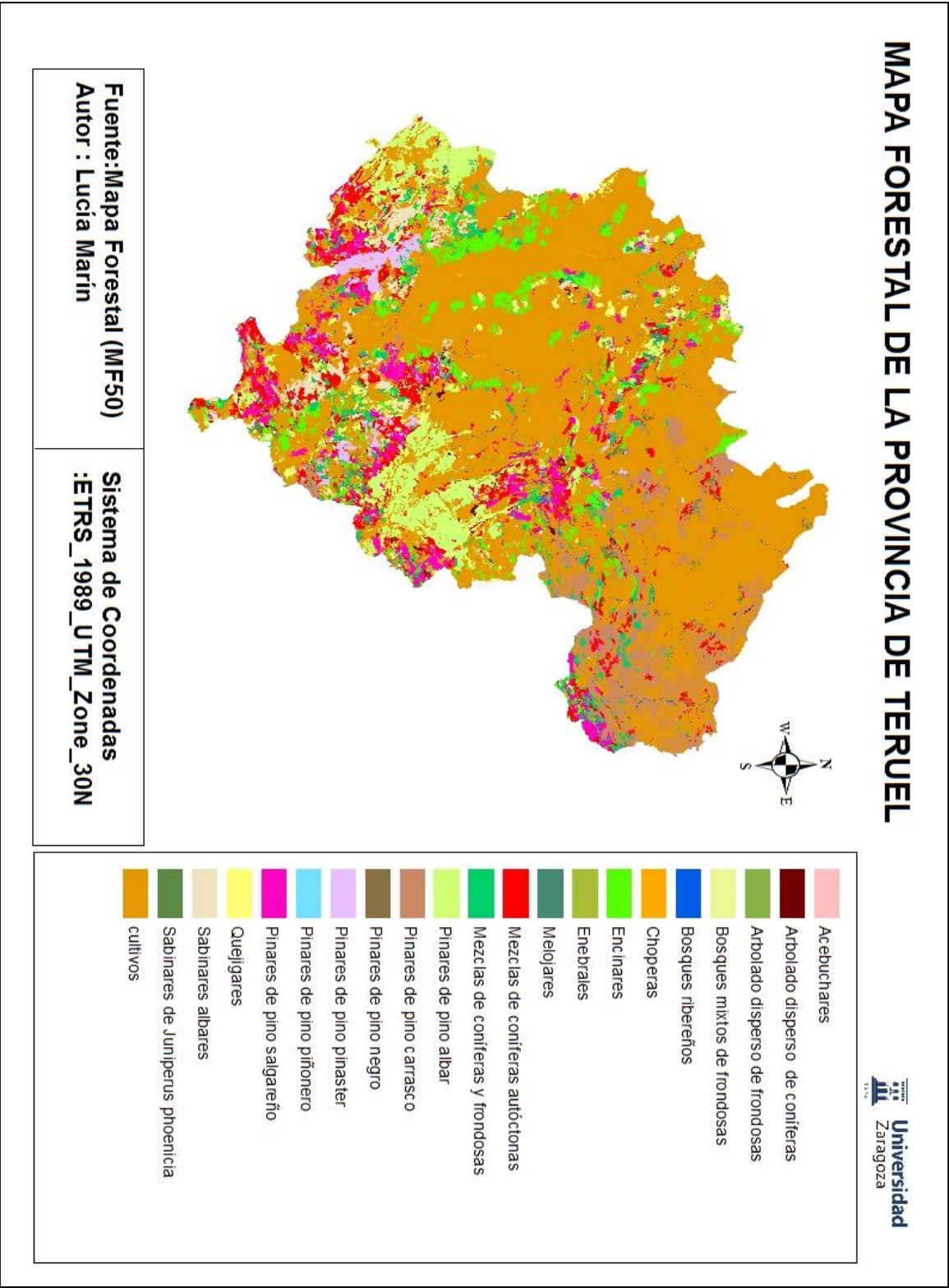
idad/AreasTematicas/MA_MedioForestal/IncendiosForestales?channelSelected=302890292fb3a210VgnVCM100000450a15acRCRD[Accessed:5-5-2016]

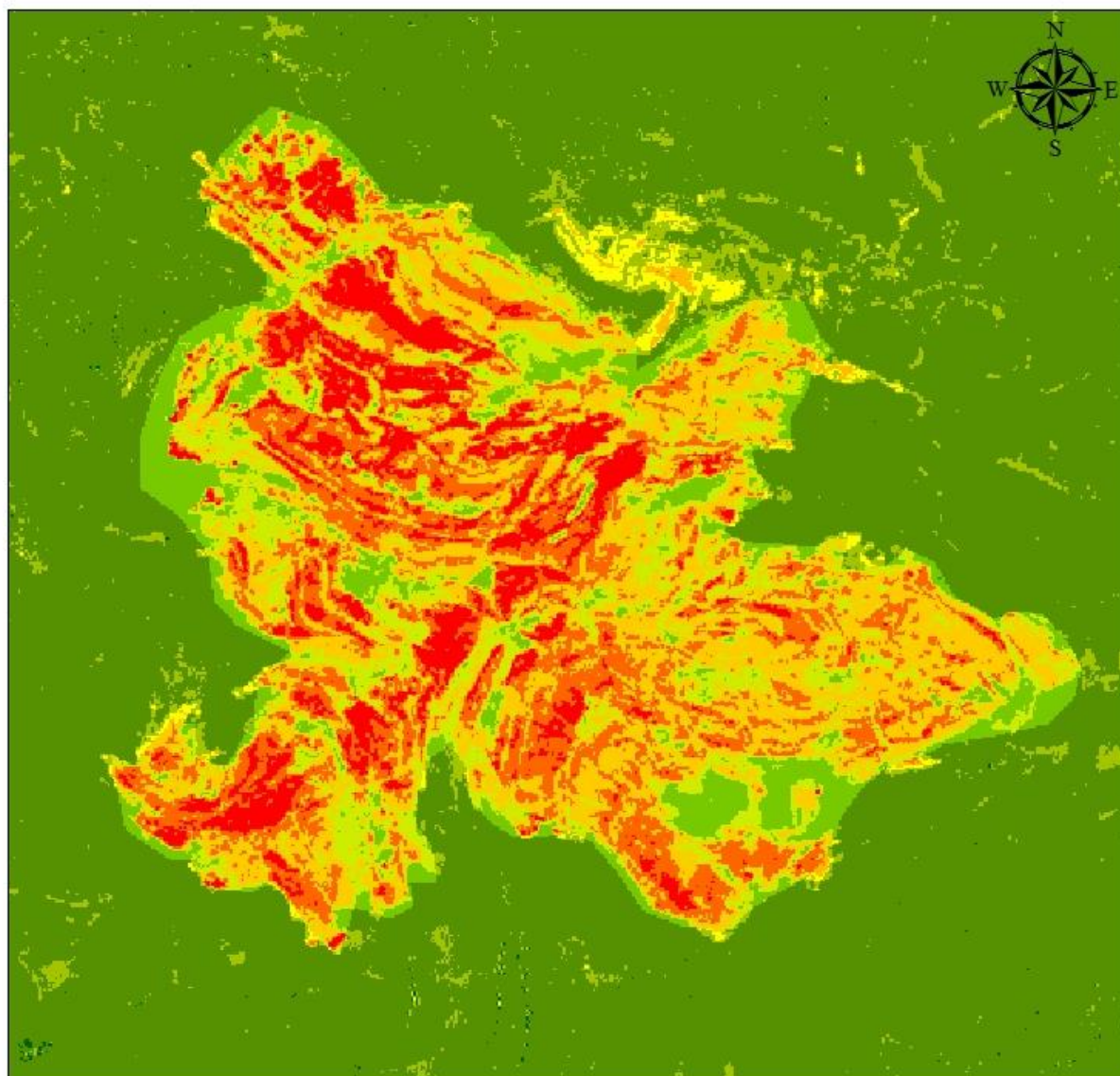
Gobierno de España; (2010). Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. “Los incendios forestales en España en el año 2008”. Área de defensa contra los Incendios Forestales (ADCIF). Available: <http://www.magrama.gob.es> [Accessed:23-5-2016]

Cuadrat Prats, J. M(2007). “El clima en Aragón, Atlas de Geografía de Aragón en Internet”. Disponible en: <http://unizar.es/geoatlas/textosok/index.htm> [Accessed: 1-3-2016]

Centro de descargas. cnig. es. (2016). *Centro de Descargas del CNIG (IGN)*. [online] Available at: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> [Accessed 2016].

7. ANEXOS



MAPA DE SEVERIDAD ALIAGA 2009**Universidad**
Zaragoza

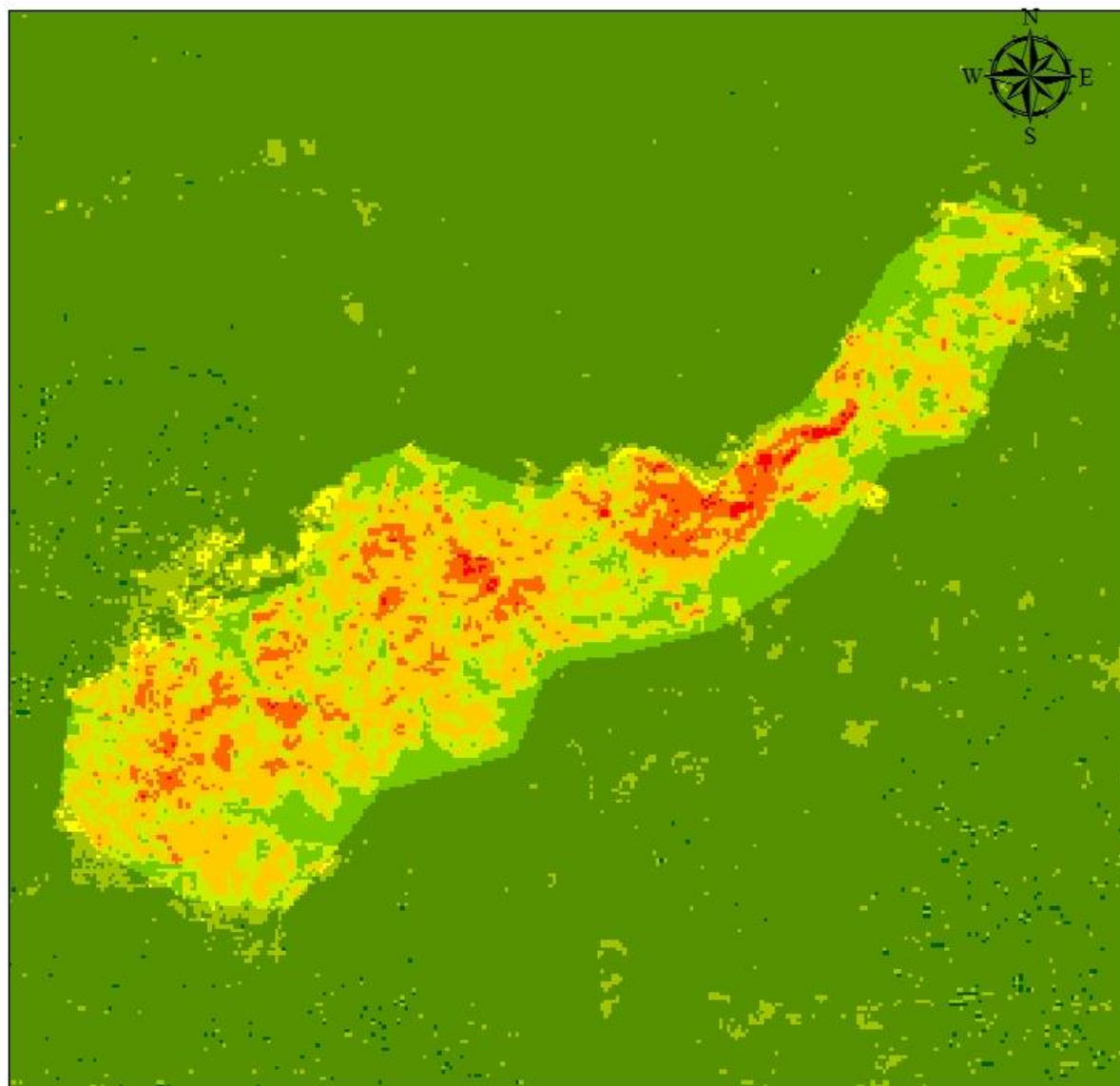
Sistema de Coordenadas:
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N

Fuente : USGS Earth Explorer
Autor: Lucía Marín

1:72.558

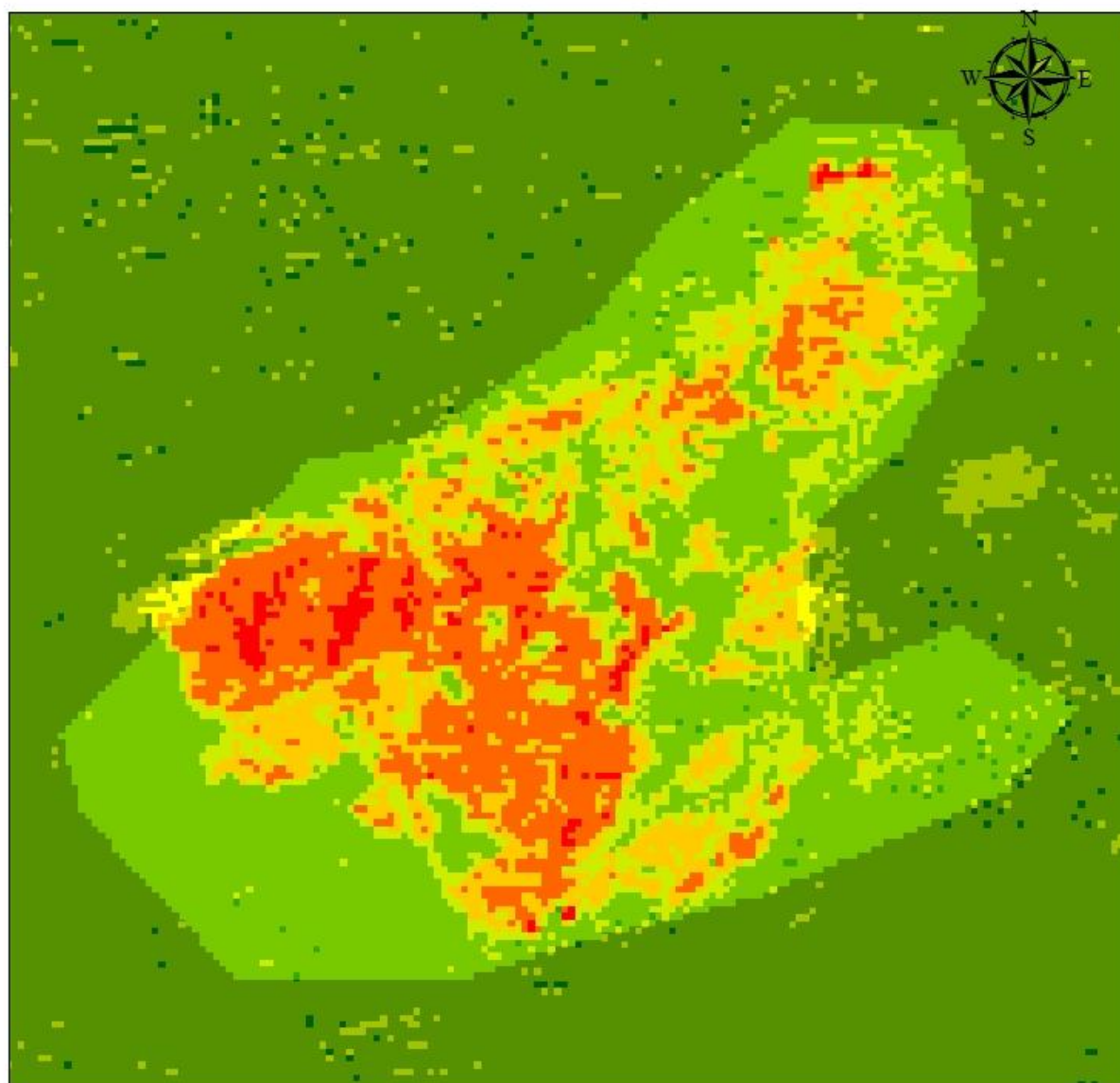
0 0,5 1 2 3 4 Km



MAPA DE SEVERIDAD ALLOZA 2009**Universidad**
Zaragoza**Sistema de Coordenadas:**
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N**Fuente : USGS Earth Explorer**
Autor: Lucía Marín**1:72.558**

0 0,325 0,65 1,3 1,95 2,6 Km




MAPA DE SEVERIDAD LOS OLMOS 2009

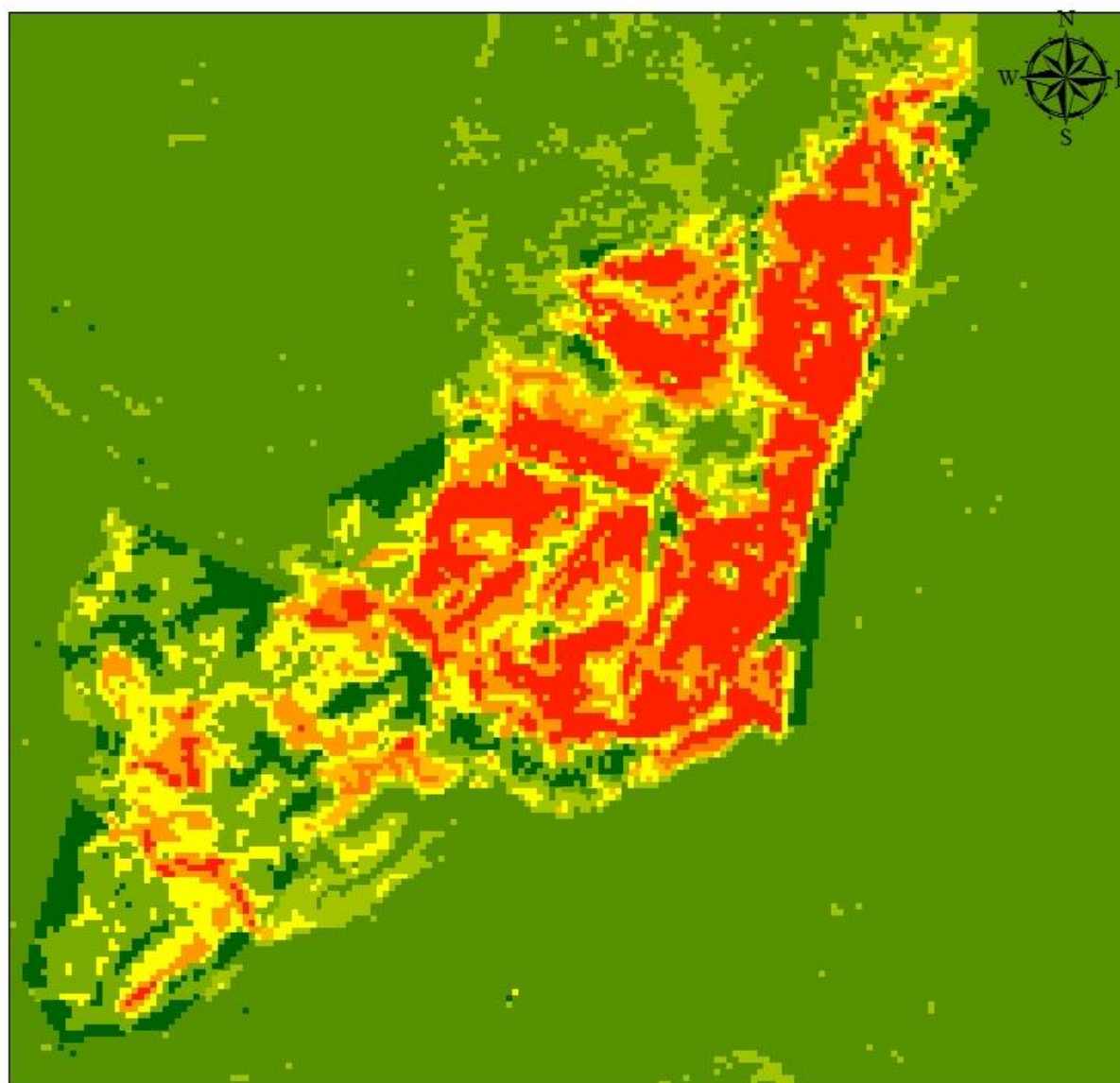
Sistema de Coordenadas:
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N

Fuente : USGS Earth Explorer
Autor: Lucía Marín

1:72.558

0 0,175 0,35 0,7 1,05 1,4 Km



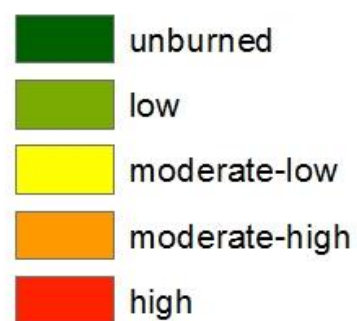
MAPA DE SEVERIDAD CORBALÁN 2009

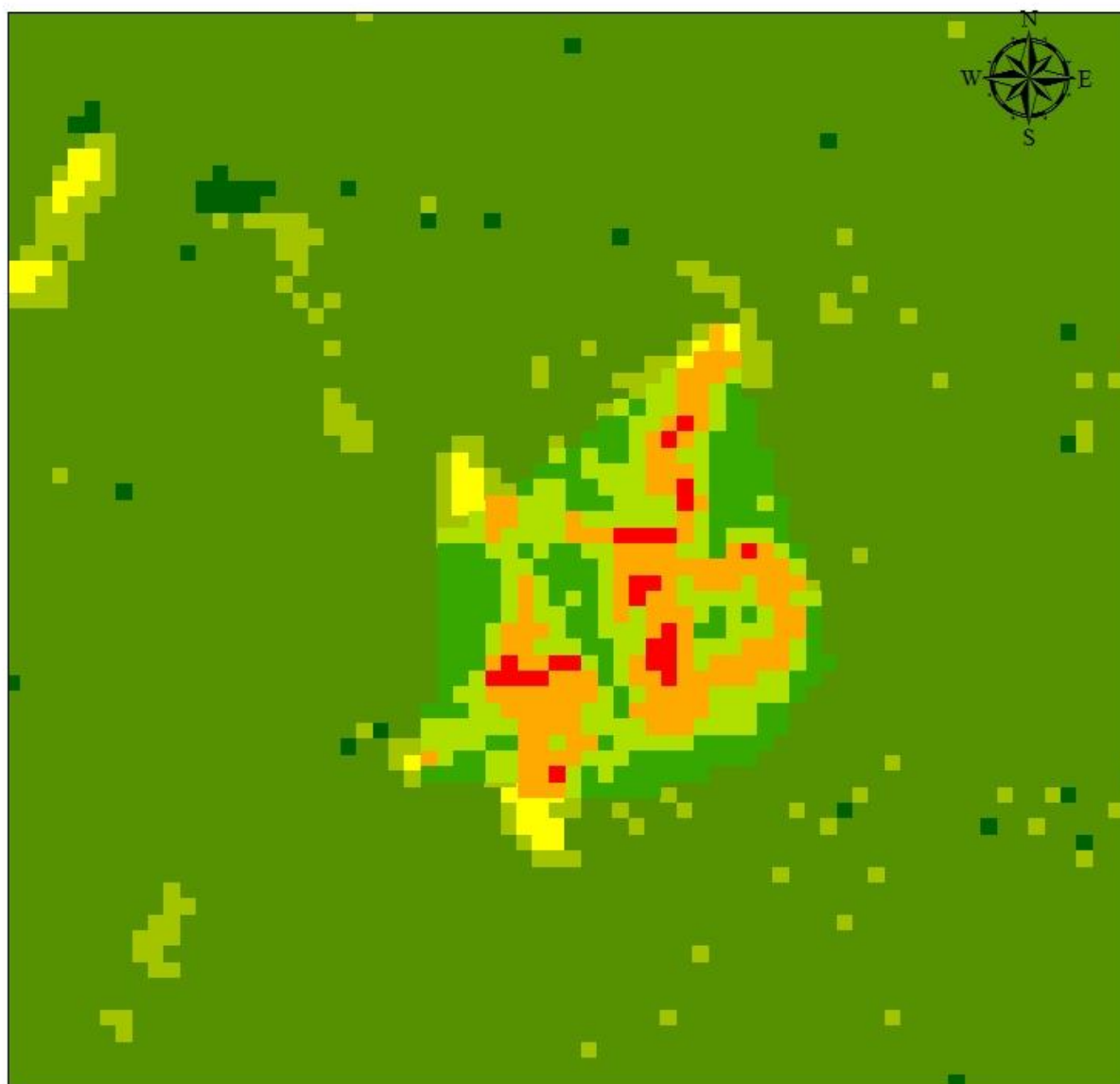
Sistema de Coordenadas:
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N

Fuente : USGS Earth Explorer
Autor: Lucía Marín

1:72.558

0 0,1750,35 0,7 1,05 1,4 Km







MAPA DE SEVERIDAD MAZALEÓN 2009

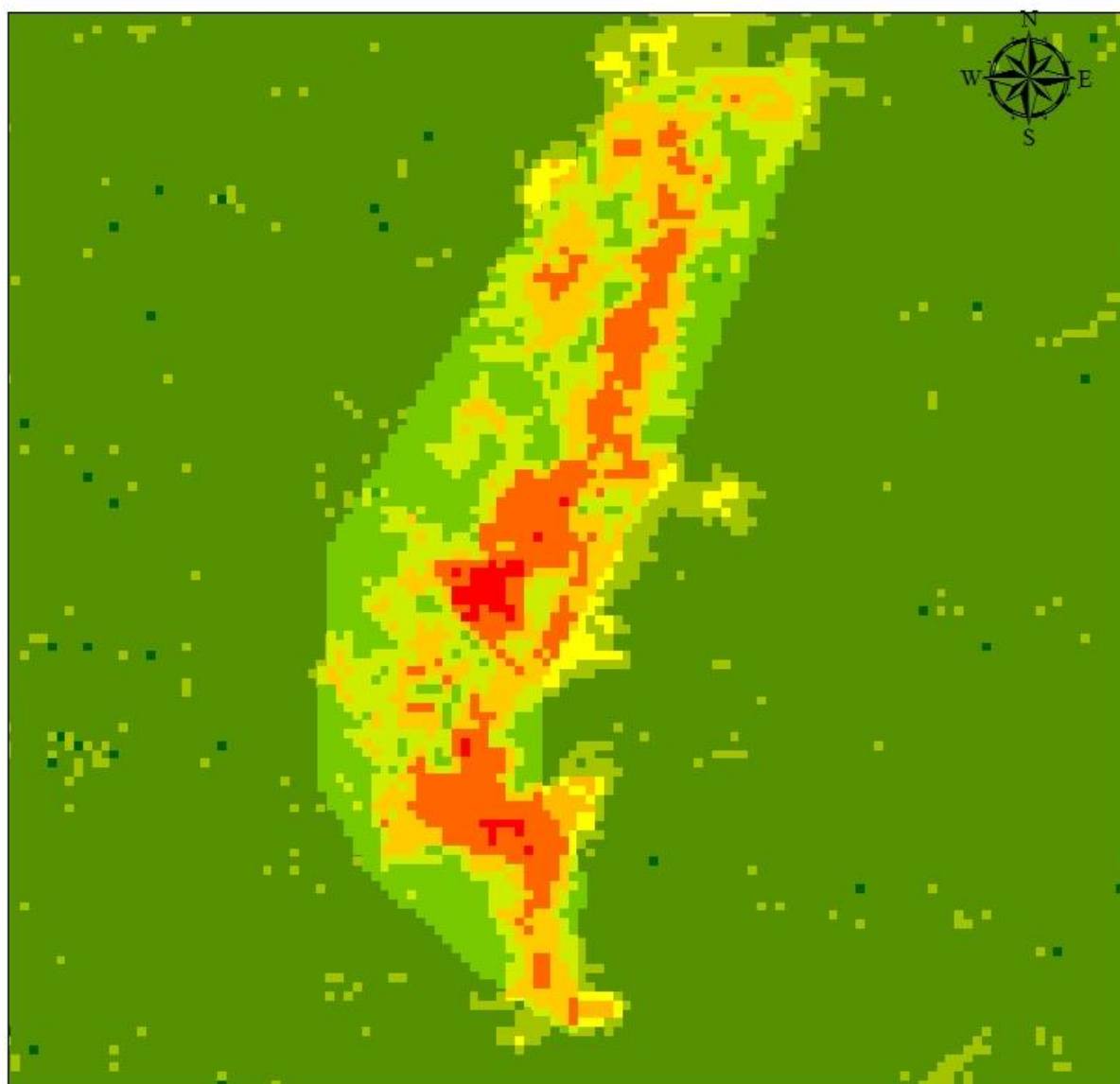
Sistema de Coordenadas:
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N

Fuente : USGS Earth Explorer
Autor: Lucía Marín

1:72.558

0 0,075 0,15 0,3 0,45 0,6 Km

 unburned
 low
 moderate-low
 moderate-high

MAPA DE SEVERIDAD VALDETORMO 2009**Universidad**
Zaragoza**Sistema de Coordenadas:**
ETRS_1989_UTM_ZONE_30N**Fuente : USGS Earth Explorer**
Autor: Lucía Marín**1:72.558**0 0,125 0,25 0,5 0,75 1 Km

- regrowth
- unburned
- low
- moderate-low
- moderate-high
- high